

Tema 1. Aspectos cuantitativos de la Química	1
Tema 2. Reacciones químicas	25
Tema 3. Química del carbono	57
Tema 4. Cinemática	89
Tema 5. Dinámica	113
Tema 6. Energía	157

Tema 1. Aspectos cuantitativos de la Química

El estudio de la naturaleza de las sustancias se abordó a finales del siglo XVIII y se desarrolló en la primera mitad del XIX, estudiando de forma sistemática y cuantitativa tanto procesos físicos (expansión de un gas) como químicos (reacción de metales con oxígeno). A partir de los resultados obtenidos, se elaboró un modelo que podía explicar las observaciones realizadas y que daba una visión conjunta de la estructura de las sustancias.

De esta forma, se puede llegar a entender la razón de las propiedades de las sustancias, e incluso existe la posibilidad de diseñar y obtener sustancias que tengan unas propiedades determinadas que resulten interesantes (desarrollo de nuevos materiales como el goretex, el kevlar, la fibra de carbono, etc).

¿Qué llegarías a ver si observases una sustancia como un cristal de sal común (sal gema) con un microscopio suficientemente potente? ¿Verías algo parecido a esto, típico modelo utilizado para representar la estructura de las sustancias? ¿Es cierto que la materia está formada por partículas?



El modelo de partículas de la materia

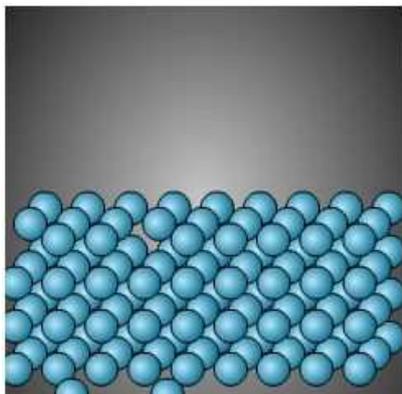
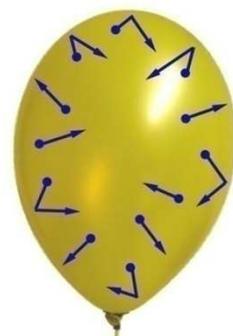
La idea de que la materia está formada por partículas muy pequeñas es consecuencia de la simple observación experimental: como un trozo de hierro se puede pulverizar y obtener así trozos de hierro más pequeños, es posible imaginar que, por sucesivas divisiones, puedes llegar a tener un trozo extraordinariamente pequeño, pero que sigue siendo de hierro; es decir, una **partícula** de hierro.

Esas partículas que constituyen la materia se mueven desordenadamente, tal y como descubrió Brown en 1827, por lo que su movimiento se llama **browniano**. Existen muchas pruebas de que ese planteamiento es correcto, observables sobre todo en sustancias gaseosas o líquidas. En el vídeo se ven partículas en el humo de un cigarrillo.



- La materia está formada por partículas, muy pequeñas e iguales entre sí para cada sustancia.
- Hay grandes espacios vacíos entre ellas, por el que se mueven desordenadamente, con velocidades que dependen del estado físico (mayores en el gaseoso y pequeñas en el sólido).

- La temperatura es la manifestación macroscópica del movimiento de las partículas: al aumentar la temperatura, también lo hace la velocidad de las partículas.
- El choque de las partículas de un gas con las paredes del recipiente que las contiene es la causa de la presión generada. Si las partículas son grandes su velocidad es menor, y si son pequeñas, mayor.



Fíjate en el modelo de cambios de estado del agua de la simulación. Observa la diferente movilidad de las partículas en cada estado, y en que en el sólido el reposo no es absoluto, sino que las partículas oscilan alrededor de una posición de equilibrio.

En el simulador siguiente se representan las partículas de un gas en un recipiente, y puedes cambiar el volumen, la temperatura y el número de partículas para ver cómo varía el número de choques por unidad de tiempo con la pared derecha, que es una medida de la presión generada por el gas en el recipiente.

¿Cómo afecta cada una de esas magnitudes a la presión del gas? No tienes más que observar lo que sucede y tener en cuenta el modelo de partículas de la materia.



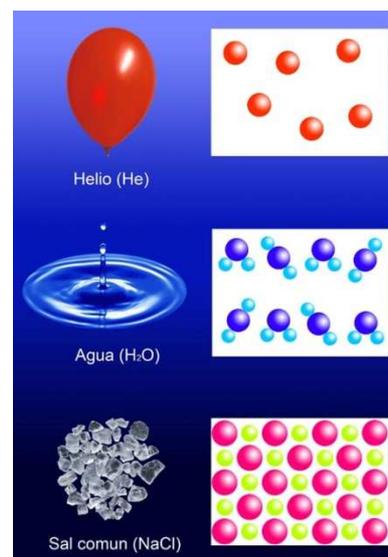
Explicación de hechos experimentales

Utilizando este modelo tan sencillo es posible explicar una gran cantidad de fenómenos que suceden en nuestro entorno.

Fíjate en la imagen de la derecha: el helio es un gas, y sus partículas están muy alejadas entre sí. Por tanto, la densidad del helio, como la de todos los gases, es baja.

El agua es líquida, y las partículas de agua están bastante más cerca entre sí, por lo que la densidad de los líquidos es mucho mayor que la de los gases.

Por último, las partículas que forman el cloruro de sodio, sólido, se encuentran muy cerca entre sí, por lo que la densidad es la mayor. Metales como el iridio o el platino tienen densidades del orden de 22 g/cm^3 , mientras que la del agua es de 1 g/cm^3 , y la del aire es de 0.0013 g/cm^3 .



¿Cómo se producen los cambios de estado? Al comunicar energía en forma de calor a un sólido, las partículas se mueven más deprisa, con lo que se alejan entre ellas y van venciendo las fuerzas que las mantienen cerca en el estado sólido. Llega un momento en que el estado físico es el líquido. Algo similar sucede al pasar los líquidos al estado gaseoso, como has podido ver antes.

1. Leyes ponderales de las reacciones químicas

Cuando varias sustancias se ponen en contacto y se observa que disminuye la cantidad de unas sustancias (**reactivos**), mientras que aumenta la de otras (**productos**), se dice que se ha producido una **reacción química**. Es decir, hay una **transformación de unas sustancias en otras**, que puede llegar a resultar sorprendente: a partir de un sólido y una disolución se produce gas, a partir de dos disoluciones se forma un sólido, etc.

Sin embargo, en los **procesos físicos** no hay cambio en la naturaleza de las sustancias, aunque pueda variar alguna de sus propiedades, como, por ejemplo, su temperatura o su energía.

A finales del siglo XVIII y principios del XIX se establecieron tres relaciones experimentales midiendo las masas de sustancias elementales que se combinaban para formar sustancias compuestas: **las leyes ponderales**.

La conservación de la masa

A finales del siglo XVIII, el trabajo experimental de Lavoisier, que explicaba la naturaleza de la materia sobre la base de datos obtenidos en el laboratorio, terminó con mil años de alquimia en busca de la piedra filosofal y la transmutación de los metales en oro.



En 1789 **Lavoisier**, el padre de la Química moderna, publicó su "*Tratado elemental de Química*", en el que detalló que había medido las masas de las sustancias que intervenían en una reacción química, y comprobado que aunque cambiaba la masa de cada una de ellas, la masa total no lo hacía, permaneciendo constante. Es decir, **la masa que desaparece de reactivos es la misma que se forma de productos**. 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.

1.1 Proporciones constantes

Entre 1794 y 1804, Proust comprobó que cuando dos sustancias se combinan entre sí para formar una tercera, **la proporción de combinación en masas entre ellas siempre tiene el mismo valor**.

La composición centesimal de las sustancias

Como los elementos se combinan en una proporción constante, la composición de cada sustancia es fija, y el porcentaje en masa que hay en ella de cada elemento (su **composición centesimal**) también.

Por tanto, si en dos sustancias formadas por los mismos elementos la composición centesimal es diferente, las sustancias son distintas (no tienes más que pensar en los hidrocarburos, de los que se conocen miles, formados todos por carbono e hidrógeno).

1.2 Proporciones múltiples

Dalton realizó medidas experimentales con elementos que reaccionaban entre sí formando distintas sustancias. Por ejemplo, hay dos óxidos de hierro diferentes, varios óxidos de nitrógeno, miles de hidrocarburos, etc.

Como se trataba de sustancias diferentes, su composición centesimal era distinta. Lo que investigó Dalton es si había alguna relación entre las masas de los elementos que se combinaban en cada una de esas sustancias.

Ley de las proporciones múltiples

En 1803 Dalton demostró experimentalmente que cuando dos sustancias simples se combinan para originar diferentes compuestos, con una masa fija de una de ellas se combinan masas diferentes de la otra, pero que están en una relación de números enteros sencillos (1 a 1, 1 a 2, 2 a 1, 1 a 3, 2 a 3, etc).

2. Teoría atómica de Dalton

Dalton retomó el concepto de átomo de la Grecia clásica e hizo una serie de suposiciones sobre la estructura y composición de la materia con el fin de explicar las leyes ponderales.

La teoría atómica de Dalton, publicada en 1808, propone que:

- Las sustancias están formadas por partículas indivisibles y muy pequeñas llamadas **átomos**.
- Todos **los átomos de una sustancia simple son iguales entre sí**; en particular, tienen la misma masa.

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

- Los átomos se unen entre sí, formando **sustancias simples** si se unen átomos iguales o **compuestas** si se unen átomos distintos, pero siempre en una proporción fija para cada sustancia.

- **En las reacciones químicas los átomos no cambian**: simplemente, se unen de forma diferente en los reactivos y en los productos, pero el número de cada tipo de átomos no se modifica.

Dalton representó cada tipo de átomos por un símbolo gráfico, como se ve en la imagen. Posteriormente, se les ha ido dando un símbolo formado por una o dos letras, mayúscula la primera, relacionado con las iniciales de su nombre, a veces latino (Fe de ferrum, Ag de argentum).

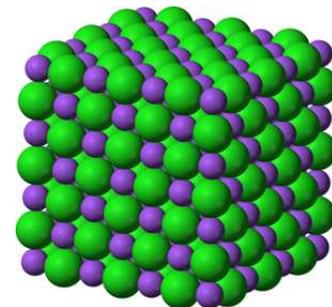
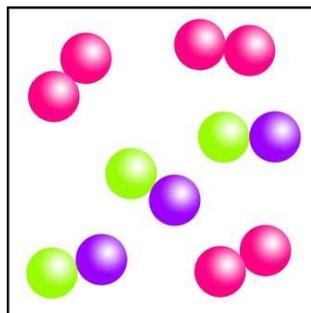
Elementos y sustancias simples

No es lo mismo elemento que sustancia simple: un elemento es un tipo de átomos, caracterizado por tener un número determinado de protones en el núcleo (un átomo es de cloro por tener 17 protones en el núcleo). Pero los átomos de un elemento pueden unirse entre sí dando lugar a diferentes sustancias simples: por ejemplo, el grafito y el diamante están formados exclusivamente por átomos de carbono, aunque las propiedades de esas sustancias son muy diferentes, y lo mismo sucede con el oxígeno del aire (O_2) y el ozono (O_3), formados por átomos de oxígeno.

Tipos de partículas

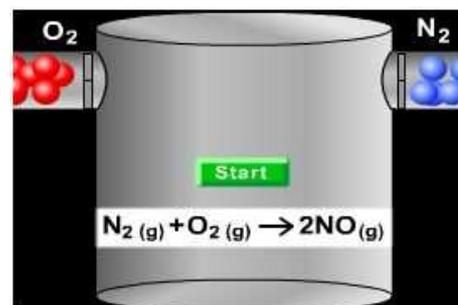
Hay tres tipos de partículas:

- **Átomos** libres (He) o formando estructuras gigantes (Fe).
- **Moléculas** (H₂O).
- **Iones** (Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻) que forman estructuras gigantes.



Interpretación de las leyes ponderales

Observa la animación siguiente. Fíjate en que se mezclan dos gases, formados por partículas biatómicas de dos átomos de oxígeno (O₂) o de nitrógeno (N₂). Cuando se produce la reacción de formación de NO, se rompen uniones entre átomos de oxígeno por un lado y de nitrógeno por otro, formándose uniones entre ellos para obtener el nuevo gas.



Como puedes ver, el número total de átomos no cambia desde la situación inicial a la final: simplemente, están unidos de una forma diferente. Por tanto, la masa total tampoco varía, y se cumple **la ley de conservación de la masa**. En este caso, sobra nitrógeno, que es el reactivo en exceso.

Fíjate también en que siempre se une un átomo de nitrógeno con uno de oxígeno para formar este óxido de nitrógeno, con lo que la fórmula del óxido es NO; por tanto, la proporción de combinación en masa corresponderá siempre al cociente entre las masas de ambos átomos. En resumen, **la proporción de combinación es constante**.

Sin embargo, el nitrógeno puede unirse con el oxígeno para formar diferentes óxidos; por ejemplo, NO y NO₂. La proporción de combinación es diferente en ambos casos, ya que hay el doble de oxígeno en el segundo que en el primero para la misma cantidad de nitrógeno, de acuerdo con **la ley de las proporciones múltiples**.

3. Leyes de los gases

Para definir el estado de un gas es necesario conocer una serie de magnitudes, llamadas **variables de estado**:

- Volumen del recipiente en el que se encuentra el gas.
- Temperatura a la que está el gas.
- Presión generada por el gas.
- Cantidad de gas.

Estas magnitudes se suelen medir en unidades que no son del Sistema Internacional, pero cuyo valor es más sencillo de manejar a escala de laboratorio. Por ejemplo, es más fácil decir que la

presión es de 1 atm (atmósfera) que de 101325 Pa (Pascales) o que 760 mm de mercurio, cantidades que son equivalentes. En resumen, se miden en:

Volumen	L (litros)
Temperatura	K (Kelvin)
Presión	atm (atmósferas)
Cantidad de sustancia n	(mol)



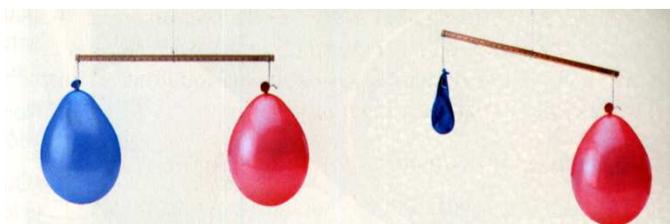
Entre la segunda mitad del siglo XVIII y comienzos del XIX se observó experimentalmente que esas magnitudes dependen unas de otras, y se establecieron relaciones numéricas entre ellas, dando lugar a relaciones funcionales llamadas **leyes de los gases**.

El estado gaseoso

El estado gaseoso es el más sencillo de estudiar, porque **todos los gases tienen prácticamente las mismas propiedades físicas**, mientras que en sólidos y líquidos las diferencias pueden ser muy apreciables (hay sólidos duros como el diamante y blandos como la cera, y líquidos muy volátiles como la acetona o poco volátiles como el agua).

Los gases son sustancias que ocupan totalmente el recipiente que los contiene, que se mezclan fácilmente, **se pueden expandir y comprimir** con facilidad, y generan una presión que depende de la cantidad de gas que hay en el recipiente (además de su volumen y de la temperatura a la que se encuentren).

Los gases son **muy poco densos**, por lo que puede parecer que no tienen peso. Hay muchos métodos para comprobar que los gases pesan. En la imagen tienes uno de ellos: al pinchar el globo y escapar el gas que contiene, su peso disminuye y la barra se desequilibra hacia el otro lado.



El comportamiento de los gases

Para describir el comportamiento macroscópico de los gases se acepta que:

- Se desprecian las interacciones entre las partículas de gas, y su volumen se considera despreciable frente al del recipiente. Un gas que cumple estas condiciones se llama **ideal**.
- Las **partículas del gas se mueven desordenadamente**, chocando entre sí y con las paredes del recipiente que las contiene.
- La presión de los gases viene originada por los choques de las partículas con las paredes del recipiente que las contiene, y depende de la fuerza de choque y de la superficie interior del recipiente ($P = F/S$). En consecuencia, **cuanto mayor sea la intensidad de los choques y menor el volumen del recipiente, mayor será la presión**.

- Al **calentar el gas**, aumentando su temperatura, **las partículas se mueven más deprisa**, chocando con más intensidad y separándose más entre ellas después del choque.
- Cuanto **mayor sea la cantidad de gas** contenida en un recipiente, **mayor es la presión generada**, ya que hay más partículas, y por lo tanto más choques entre ellas y con las paredes del recipiente.
- La **presión no depende del tipo de gas**: gases diferentes a la misma temperatura y en el mismo volumen generan la misma presión si la cantidad de partículas de cada uno es la misma (las partículas grandes se mueven despacio y las pequeñas deprisa).

¿Grado centígrado y grado Kelvin?

Una escala de temperaturas es centígrada si está dividida en 100 grados entre el punto de congelación y el de ebullición del agua. La escala Celsius, diseñada por Anders Celsius en 1742, es centígrada, pero también lo es la escala Kelvin, establecida en 1848 y basada en la escala Celsius, con la que se relaciona mediante la equivalencia $0\text{ }^{\circ}\text{C}=273,16\text{ K}$.

Se debe denominar **grado Celsius** ($^{\circ}\text{C}$), aunque coloquialmente se sigue utilizando la expresión "grados centígrados", ya que las dos escalas son centígradas.

El **Kelvin** (no el grado Kelvin) es la unidad de temperatura del Sistema Internacional, y presenta la ventaja de que no hay temperaturas negativas y de que hay un cero de temperatura (0 K).

3.1 Ley de Boyle

Relación presión - volumen a temperatura constante

La propuso Boyle en 1662, e indica que cuando se aumenta la presión sobre un gas a temperatura constante y sin cambiar la cantidad de gas, el volumen que ocupa el gas disminuye de forma inversamente proporcional a la presión ejercida (que la presión sea doble significa que el volumen pasa a ser la mitad).

Se explicita como **$PV = \text{cte}$** , o bien **$P_iV_i = P_fV_f$** , donde i se refiere a la situación inicial del gas y f a la final.

En la imagen hay una jeringa que tiene la punta cerrada con pegamento. Al empujar el émbolo, cada vez resulta más difícil comprimir, y en el momento en que se suelta, vuelve a la situación inicial. Analizando el proceso, al aumentar la presión se produce una disminución de volumen, de acuerdo con la ley de Boyle.



3.2 Leyes de Charles y de Gay-Lussac

En 1787, Charles estudió experimentalmente la relación entre la temperatura a la que se encuentra un gas y el volumen que ocupa, observando que si una masa fija de gas se calienta a presión constante, su volumen aumenta proporcionalmente a la temperatura en Kelvin.

Si observas la imagen, verás la diferencia entre el aire a temperatura ambiente (izquierda) y el aire caliente (derecha): en el segundo caso, el volumen ocupado es mayor. Si se deja enfriar hasta la temperatura inicial, el globo también vuelve a tener el tamaño inicial.



Esta ley se suele explicitar como $V/T = \text{cte}$ o bien $V_i/T_i = V_f/T_f$.

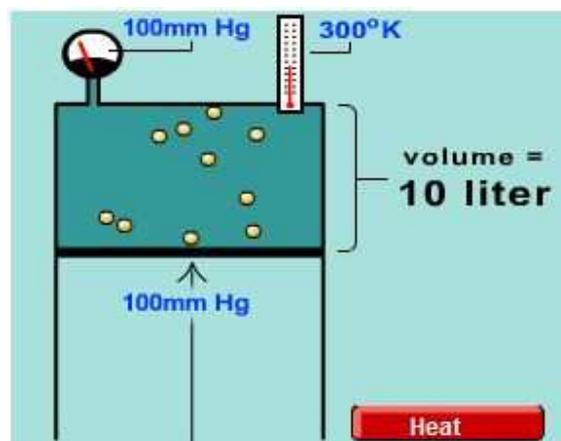
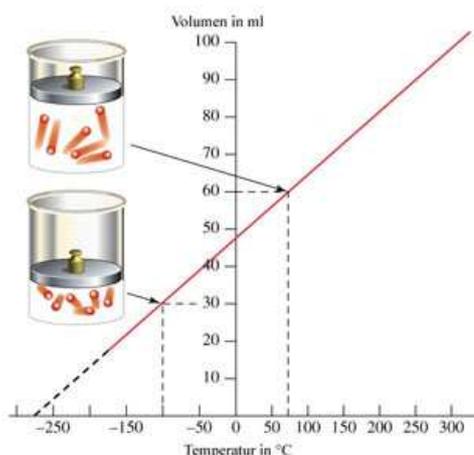
De la misma forma, al enfriar el gas su volumen disminuye. Bajando la temperatura hasta donde resulta posible y extrapolando la recta resultante, se observa que el gas ocuparía un volumen cero a $-273.15\text{ }^\circ\text{C}$, que es 0 K, la menor temperatura que se puede alcanzar.

En 1802, Gay-Lussac estudió experimentalmente el comportamiento de los gases cuando se calentaba una masa fija de gas en un recipiente de volumen constante. Observó que al aumentar la temperatura, la presión también lo hacía de forma proporcional.

Esta ley se suele explicitar como $P/T = \text{cte}$ o bien $P_i/T_i = P_f/T_f$

De la misma forma que antes, extrapolando la recta resultante en la zona de bajas temperaturas, se obtiene que la presión se anularía a -273°C (0 K).

Observa en la animación los valores de la presión y la temperatura y pulsa la tecla para calentar. Si el recipiente tiene un volumen fijo, las partículas del gas aumentan su energía cinética, por lo que chocan más veces por unidad de tiempo con las paredes del recipiente, al moverse más deprisa, y lo hacen con más intensidad. Por tanto, la presión aumenta. Además, al llegar a una temperatura doble, también se duplica la presión, como se deduce de la ley de Gay-Lussac.



3.3 Síntesis de las leyes

Las tres leyes referidas a un único gas (Boyle, Charles y Gay-Lussac) se pueden resumir en una única ecuación matemática:

$PV/T = cte$ (que depende de la cantidad de gas)

$$\frac{P_i V_i}{T_i} = \frac{P_f V_f}{T_f}$$

Fíjate en que si mantienes constante la temperatura T , la ecuación general se reduce a $PV = cte$, ya que al ser $T_i = T_f$ puedes simplificar la igualdad. Es decir, se obtiene la ley de Boyle. Evidentemente, la constante de esta ley de Boyle es distinta de la constante de la ecuación general.

De forma similar, manteniendo constante la presión o el volumen, obtendrás las leyes de Charles y de Gay-Lussac.

Fíjate en que **las constantes de las leyes dependen de la cantidad de gas que hay en el recipiente** y su valor es diferente en cada ley.

Mezclas de gases

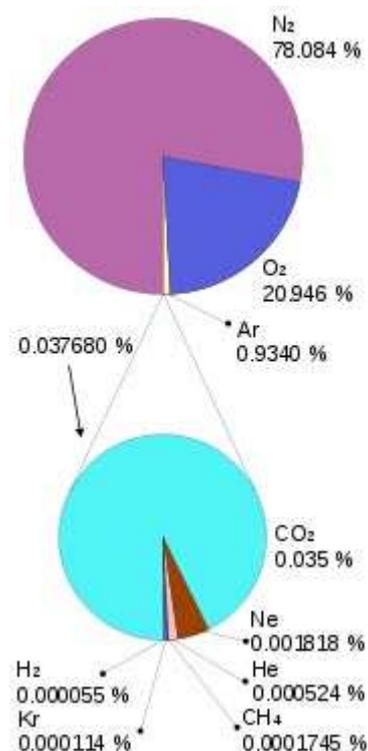
Cuando hay varios gases en un recipiente, se encuentran formando una mezcla homogénea, y no es posible diferenciar unos de otros, pero se comportan como si cada uno de ellos estuviera solo en el recipiente.

Es el caso del aire, que tiene un 78% en volumen de nitrógeno y casi un 21% de oxígeno, junto a porcentajes muy pequeños de dióxido de carbono, vapor de agua, gases nobles, etc.

En las mezclas de gases, las partículas más grandes se mueven más despacio y las pequeñas más deprisa, pero su energía cinética es la misma: lo importante es el número de partículas, independientemente de cuáles sean.

Por tanto, la presión de la mezcla depende del número total de partículas, que es la suma de las partículas que hay de cada tipo en una mezcla, como se indica en la **ley de Dalton**.

En 1803, Dalton enunció una ley referida a las mezclas de gases: cuando hay varios gases en un mismo recipiente, la presión total producida por la mezcla es la suma de las presiones que cada uno de los gases generaría si estuviera solo en el recipiente. Es decir, la presión total es la suma de las presiones parciales.



$$P = \sum P_i$$

3.4 Hipótesis de Avogadro

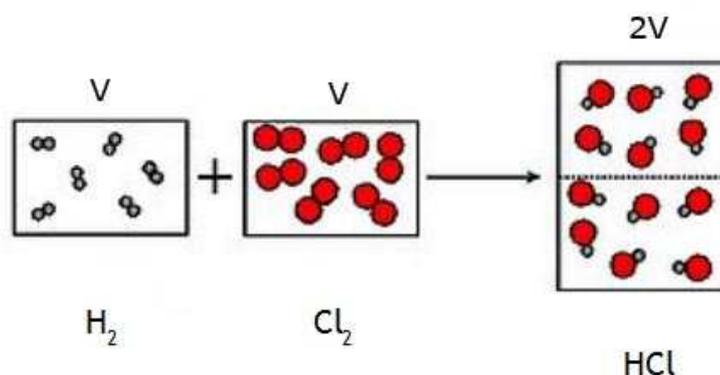
En 1805, **Gay-Lussac** observó que se cumplía una relación de combinación que también era constante, pero que se daba exclusivamente entre gases: los volúmenes que reaccionan de dos gases que están a las mismas condiciones de presión y temperatura lo hacen en una relación de números enteros sencillos.

Por ejemplo, cuando el hidrógeno reacciona con cloro, lo hacen volúmenes iguales para dar un volumen doble. Y si reacciona un volumen V de oxígeno lo hace con un volumen $2V$ de hidrógeno para dar un volumen $2V$ de agua.

Para explicar estos hechos experimentales, **Avogadro** supuso que volúmenes iguales de gases distintos, en las mismas condiciones de presión y temperatura, contienen el mismo número de partículas: es un planteamiento que utiliza el modelo de partículas de la materia.

El concepto de molécula

Además, Avogadro introdujo el concepto de molécula. Observa el diagrama de partículas siguiente, que corresponde a la reacción entre hidrógeno y cloro para dar ácido clorhídrico.



Si el cloro y el hidrógeno fuesen monoatómicos, se formaría el mismo volumen de ácido clorhídrico que el que había reaccionado de cada gas. La única forma de explicar que el volumen formado sea doble es suponer que ambos reactivos están formados por partículas que tienen dos átomos iguales, por **moléculas** biatómicas.

4. La cantidad de sustancia

Al trabajar con una sustancia cualquiera, habitualmente necesitamos medir una determinada cantidad para disolverla, hacerla reaccionar, etc. En el caso de sólidos, lo más sencillo es pesarlos, mientras que en el caso de líquidos o disoluciones es habitual medir volúmenes. Si se trata de gases, se miden volúmenes en unas determinadas condiciones de presión y temperatura. Es decir, desde el punto de vista práctico se trabaja con magnitudes a **escala macroscópica**: masas y volúmenes.

Por otro lado, el modelo de materia que has visto utiliza partículas extraordinariamente pequeñas, que sirven para explicar tanto procesos físicos como reacciones químicas. Por ejemplo, decimos con naturalidad que "una partícula de la sustancia X reacciona con dos partículas de la sustancia Y". Para interpretar lo que sucede en los procesos se trabaja a **escala microscópica**, a escala de partículas.

¿Cuántos átomos de cobre hay en el trozo de cobre nativo que se ve en la imagen? Puedes medir la masa de cobre, pero ¿puedes contar el número de átomos? El problema es que **no es posible contar partículas**: el tamaño de los átomos es del orden del amstrong (10^{-10} metros, de forma que diez mil millones de átomos en fila alcanzarían un metro).

¿Cuántos átomos de cobre hay?



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. Eso es lo que interesa saber desde el punto de vista de las reacciones químicas y que, debido a su tamaño extraordinariamente pequeño, no es posible contar.

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. De esta forma, se escribe **n(agua)= 2 mol**, que significa que la **cantidad de sustancia de agua es de 2 mol** (ó 2 moles).

¿Para qué se utiliza la cantidad de sustancia?

Para relacionar la masa o el volumen de sustancia, que se pueden medir experimentalmente, con el número de partículas que hay en ellas, cuya medida es imposible, pero que es fundamental para entender cómo se producen las reacciones químicas.

masa o volumen \leftrightarrow **cantidad de sustancia** \leftrightarrow número de partículas

El número de Avogadro

El número de partículas que hay en un mol se llama **número de Avogadro**, N_A , y es **6,023 10^{23} partículas por mol**. ¿Por qué se ha elegido ese valor y no otro más sencillo, como 10^{20} por ejemplo?



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

La **masa relativa** de una partícula indica cuántas veces es mayor su masa que la que se toma como referencia (la doceavaparte de la masa atómica del isótopo 12 del carbono). Es el dato que aparece en la tabla periódica para los átomos, y que se usa para determinar la masa de partículas poliatómicas.

Por ejemplo, $m_r(\text{H}_2\text{O}) = 18$ 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 la masa unidad es de $1,667 \cdot 10^{-24}$ g, la **masa real** de la molécula de agua es de $18 \cdot 1,667 \cdot 10^{-24}$ 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:

$$18 \cdot 1,669 \cdot 10^{-24} \text{ g/molécula} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \text{ moléculas/mol} = 18 \text{ g/mol}$$

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, $1,669 \cdot 10^{-24}$ g.

Errores terminológicos

Fíjate en las expresiones siguientes, porque **son incorrectas**:

$$1 \text{ mol } (\text{O}_2) = 32 \text{ g} \quad 1 \text{ mol } (\text{O}_2) = N_A \text{ moléculas}$$

¡Estás igualando magnitudes diferentes: cantidad de sustancia con masa o con número de partículas! Eso sí, te estás refiriendo en todos los casos a la misma cantidad de oxígeno.

Las expresiones siguientes **son correctas**:

$$n(\text{O}_2) = 1 \text{ mol} \quad m(\text{O}_2) = 32 \text{ g} \quad N(\text{O}_2) = N_A \text{ moléculas}$$

¿El número de moles?

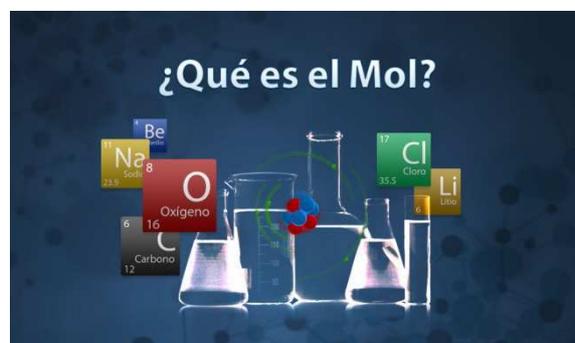
De esta forma, se puede decir **$n(\text{agua}) = 2 \text{ mol}$** , que significa que **la cantidad de sustancia de agua es de 2 mol** (ó 2 moles).

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 CO_2 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 , que tienen una masa de **M** (masa molar), es sencillo calcular la masa de una partícula de la sustancia: no tienes más 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. En todo caso, y dado que deberás calcular con mucha frecuencia la cantidad de sustancia sabiendo la masa o al revés, la primera fórmula te puede resultar útil.

5. Ecuación de los gases ideales

La constante de la ecuación de los gases $PV/T = \text{cte}$ es nR , donde n es la cantidad de sustancia de gas y R la constante de los gases, que es $8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ si las unidades son las del Sistema Internacional (S.I.) -presión en pascas (Pa ó N/m^2) y volumen en m^3 - y $0,082 \text{ atm.L.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ si la presión se mide en atmósferas (atm) y el volumen en litros (L), que es lo más habitual.

De esta forma, la ecuación de los gases ideales se suele escribir como **PV=nRT**.

Si la cantidad de sustancia es de un mol y las condiciones son las llamadas normales (P=1 atm y T=273 K), el volumen que ocupa un mol de gas (su volumen molar) es de aproximadamente 22,4 L/mol.

Cantidad de sustancia, masa, partículas y volumen en condiciones normales

Un mol de cualquier sustancia tiene una masa de **M gramos** (M es la masa molar en g/mol), contiene **N_A partículas** (N_A es el número de Avogadro) y, si es un gas, ocupa **22,4 L en condiciones normales**.

Los gases reales

Todos los planteamientos del modelo de los gases se basan en que las partículas que los forman son muy pequeñas en comparación con el tamaño del recipiente que las contiene y en que entre ellas no hay fuerzas atractivas. Los gases que siguen la ecuación de los gases (PV=nRT) se llaman gases ideales.

Pero hay casos en que no se sigue la ecuación anterior, por lo que se dice que se trata de un gas real y la ecuación hay que modificarla introduciendo factores de corrección para llegar a la **ecuación de los gases reales o de Van der Waals**.

$$\left(P + a \frac{n^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

No van a surgir casos en que tratemos con gases reales, pero son muy habituales: piensa en un gas que se comprime a alta presión, tanto que sus moléculas llegan a estar tan cerca que interaccionan entre ellas e incluso el gas puede licuar, como sucede con los gases combustibles que se venden licuados en bombonas.

Presiones parciales y fracción molar

Según el principio de Avogadro, la presión solamente depende de la cantidad de sustancia de gas, pero no de qué gas se trata, y es proporcional a la cantidad de sustancia que hay de ese gas en un recipiente de volumen V a una temperatura T, de acuerdo con la ecuación de los gases.

¿Y si en el recipiente hay dos o más gases? Ya has visto que la presión total en la mezcla es la suma de las presiones parciales, y puedes calcular cada una de ellas aplicando la ecuación de los gases a cada uno de los gases de la mezcla.

También puedes utilizar el principio de Avogadro: si en una mezcla de dos gases A y B hay n_A moles de A y n_B moles de B, que generan respectivamente unas presiones parciales de P_A y P_B, la cantidad total de sustancia y la presión total son, respectivamente, n = n_A + n_B y P = P_A + P_B.

Como n_A moles de A generan una presión P_A y los n moles totales generan una presión P, en recipientes del mismo volumen y temperatura:

$$\frac{p_A}{n_A} = \frac{P}{n}; \quad P_A = \frac{n_A}{n} P = X_A P$$

donde X_A es la fracción molar del gas A en la mezcla.

Presión parcial de un gas en una mezcla

Se puede calcular aplicando la ecuación de los gases como si el gas estuviera solo en el recipiente, o bien mediante la fracción molar y la presión total.

$$P_A = \frac{n_A}{n} P = X_A P$$

5.1 Determinación de masas molares

La determinación de masas molares es muy importante porque permite identificar sustancias, ya que a cada una, con una fórmula concreta, le corresponde una masa molar: el agua es H_2O y su masa molar es de 18 g/mol, mientras que el agua oxigenada es H_2O_2 y su masa molar es 34 g/mol.

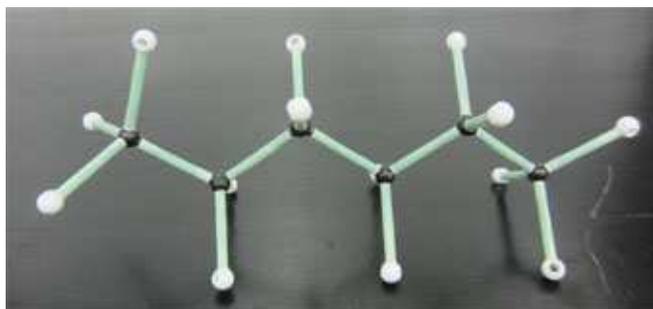
Además de utilizando métodos específicos (espectrometría de masas, crioscopia), se pueden determinar masas molares de gases utilizando la ecuación de los gases:

$$PV = nRT; \quad PV = \frac{m}{M} RT; \quad M = \frac{mRT}{PV} = \frac{dRT}{P}$$

siendo d la densidad del gas (m/V).

5.2 Determinación de las fórmulas de las sustancias

En primer lugar, hay que determinar la **proporción de átomos de cada tipo en el compuesto**; es decir, la **fórmula empírica**. Por ejemplo, $(C_xH_yO_z)_n$ significa que en la sustancia hay x átomos de C por cada y átomos de H por cada z átomos de O. Si es una molécula, su fórmula será $C_xH_yO_z$, $C_{2x}H_{2y}O_{2z}$, $C_{3x}H_{3y}O_{3z}$, etc, ya que en todos esos casos la proporción es la misma. Para concretar la fórmula molecular habrá que saber también la masa relativa o la molar.



Para determinar la fórmula empírica se necesita saber la masa de cada elemento que hay en una cantidad determinada de compuesto, que se da directamente o se puede obtener a partir de otros datos. También se puede facilitar la composición centesimal, ya que indica la masa de cada elemento que hay en 100 g de compuesto.

Para pasar del nivel experimental (masas de cada elemento) al atómico (número de átomos de cada tipo), se calcula la cantidad de sustancia de cada elemento.

masa -----> cantidad de sustancia -----> número de átomos

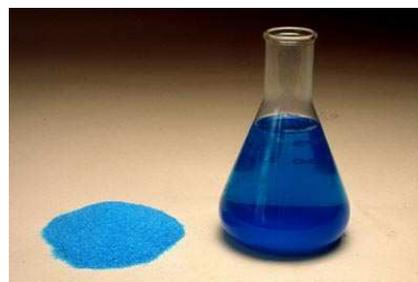
Las proporciones de combinación en masas o cantidades de sustancia se indican con dos puntos (:). Se deben escribir con suficiente número de cifras significativas (tres al menos).

Como la proporción de átomos en el compuesto ha de ser necesariamente de números enteros (no hay fracciones de átomo), es necesario hacer la transformación correspondiente. Para ello, se divide cada número de la proporción por el más pequeño de ellos, y se transforma el resultado a proporción de números enteros.

6. Disoluciones

La mayoría de las sustancias que se utilizan en la vida diaria están en disolución o se disuelven antes de usarlas (limpiador amoniacal, que es disolución de amoníaco en agua, o azúcar, que disolvemos para que endulce el café).

Además de sólidos como el azúcar o gases como el amoníaco, también hay líquidos disueltos, como es el caso del etanol en las bebidas alcohólicas.



En todos los casos, el disolvente más utilizado es el agua, pero no es el único, ya que hay sustancias que no se disuelven en ella. En este tema solamente vas a tener en cuenta el caso del agua, aunque todas las consideraciones que se hagan son válidas para cualquier otro disolvente.

Una disolución es una **mezcla homogénea** de dos o más sustancias; es decir, no se pueden distinguir las sustancias que forman la mezcla.

En sentido estricto, el aire es una disolución (mezcla homogénea de varios gases) y las aleaciones metálicas también. Sin embargo, son más importantes las disoluciones en fase líquida, tanto en la vida diaria como en el laboratorio y la industria.

La sustancia que se encuentra en mayor proporción es el **disolvente**, agua habitualmente. La sustancia que se disuelve se llama **soluto**, y puede ser sólida (sal común), líquida (alcohol) o gaseosa (ácido clorhídrico).

El proceso de disolución es un proceso físico ya que si se calienta la disolución se separan disolvente y soluto: si es un gas, sale el gas de la disolución; si es un líquido, se evapora antes el líquido más volátil (destilación), y si es un sólido, queda como residuo seco tras evaporarse el disolvente.

Una disolución se dice que está **diluida** cuando hay una cantidad pequeña de soluto en una cantidad determinada de disolvente; si la cantidad disuelta es grande, se dice que está **concentrada**, y si ya no se puede disolver más sustancia, se dice que está **saturada**.

Se llama **solubilidad** de una sustancia a la cantidad máxima de sustancia que se puede disolver en una cantidad determinada de disolvente para una temperatura dada. Por ejemplo, la solubilidad de la sal común es de 370 gramos por litro de agua, a una temperatura de 20 °C.

¿Qué diferencia hay a simple vista entre el agua de mar (agua con sales disueltas) y el agua pura (agua destilada, que no tiene ninguna sustancia disuelta)?: ninguna, ya que es una mezcla homogénea y no tiene color. Sin embargo, hay diferencias: el agua de mar tiene sabor salado, su densidad es mayor, al calentarla y evaporar el agua se obtiene un residuo seco debido a las sustancias disueltas,

Si además la sustancia disuelta es coloreada, como es el caso del sulfato de cobre, de color azul, la disolución también se colorea, y con mayor intensidad cuanto más sustancia hay disuelta y más concentrada está la disolución.



6.1 Medidas de composición

La composición de las disoluciones se expresa como una proporción entre la cantidad de soluto disuelta y la cantidad de disolución formada o la cantidad de disolvente utilizado.

Evidentemente, se obtienen disoluciones idénticas disolviendo 10 g de sal común en 100 mL de agua que 20 g en 200 mL, ya que la proporción es la misma, y las dos disoluciones formadas tendrán las mismas propiedades.



Gramos por litro

Mide la masa de soluto disuelta por litro de disolvente o de disolución (esto último es lo más habitual).

Porcentaje en masa (%)

Mide el porcentaje en masa de soluto respecto de la disolución formada.

$$\frac{m_{\text{solute}}}{m_{\text{disolucion}}} \cdot 100$$

Porcentaje en volumen (%)

Se utiliza cuando el soluto es líquido, caso de las bebidas alcohólicas (etanol) o del vinagre (ácido acético). Se habla de grado alcohólico o de grado de acidez, respectivamente, y también se indica como ‰.

Fíjate en que las botellas de cerveza indican 5º, las de vino 12 ó 13º, las de vinagre 6º, etc.

6.2 Concentración de las disoluciones

La concentración se mide en **moles de soluto por litro de disolución (mol/L)**. Esta medida tiene el nombre tradicional de molaridad o concentración molar. La IUPAC aconseja no utilizar términos relacionados con molar, porque indican "por mol", y no tiene ese significado en este contexto, aunque se sigue utilizando con mucha frecuencia.



$$c = \frac{n}{V} = \frac{m/M}{V}$$

Como mide la cantidad de sustancia de soluto por litro de disolución, se determina fácilmente sabiendo la composición en g/L: para pasar la masa a cantidad de sustancia no hay más que dividir por la masa molar del soluto. De esta forma, se dice que una disolución de hidróxido de sodio tiene una concentración de 0.5 mol/L, que significa que hay disueltos 0,5 moles de NaOH en cada litro de disolución. Se sigue diciendo con mucha frecuencia que es 0,5 molar (0,5 M), pero es una terminología que está desaconsejada.

Medidas de composición

El numerador indica cantidad de soluto, y el denominador, de disolución.

Medida de composición	Expresión
Masa por unidad de volumen	m_s/V_d
Porcentaje en masa	$m_s/m_d \cdot 100$
Porcentaje en volumen	$V_s/V_d \cdot 100$
Concentración	n_s/V_d

Calcular la concentración de una disolución

Se puede generalizar la siguiente fórmula, ya que se trata de un cálculo muy habitual en Química:

$$c = \frac{d\%}{M}$$

donde d es la densidad de la disolución en g/L, % el porcentaje en masa de soluto y M la masa molar del soluto. Sin embargo, es más recomendable entender el concepto de concentración y aplicarlo para determinar su valor.

6.3 Preparación de disoluciones

¿Qué debes hacer para preparar una disolución con la composición que te interese?

Vas a ver el procedimiento para preparar 250 mL de disolución de NaCl (sal común) de concentración 0.4 mol/L. En el vídeo tienes detallados los pasos fundamentales.



1. **Prepara el material necesario:** balanza, vidrio de reloj, espátula, vaso de precipitados, varilla, matraz aforado, frasco lavador con agua y sustancia a disolver (NaCl en este caso).

2. Haz los **cálculos oportunos para saber la masa de NaCl que hay que pesar:**

$$c = \frac{n}{V} = \frac{m/M}{V} \Rightarrow m = cVM = 0,4 \text{ mol/L} \cdot 0,25 \text{ L} \cdot 58,5 \text{ g/mol} = 5,85 \text{ g}$$

La balanza utilizada llega a medir 0.1 g, por lo que la pesada es de 5.9 g.

3. Coloca el **vidrio de reloj en la balanza y tálalo** (la balanza marca 0, con lo que se descuenta el peso del vidrio).

4. **Añade sal común** con la espátula hasta que la balanza marque 5.9 g.

5. Pasa el **sólido a un vaso de precipitados**. Arrastra los últimos granos de sal con el frasco lavador, añadiendo un poco de agua sobre el vidrio.

6. Añade más agua al vaso de precipitados y **agita hasta que se disuelva todo el sólido**.

7. Pasa con cuidado la **disolución al matraz aforado**. Aprovechando el pico del frasco lavador, aclara dos o tres veces el vaso con el frasco lavador y añade el agua al matraz.

8. Completa con **agua hasta el aforo**, marca situada en el cuello del matraz que indica hasta dónde debe haber líquido para alcanzar la capacidad del matraz. Se suele hacer con un cuentagotas, o con el frasco lavador si se tiene una cierta costumbre. Esta técnica se llama enrasar.

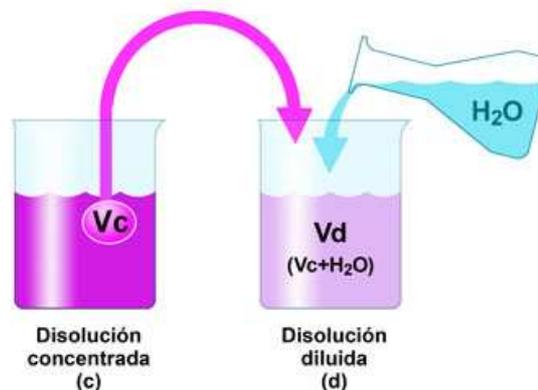
9. Tapar y **dar la vuelta al matraz** varias veces para homogeneizar la disolución.

Por último, conviene etiquetar el matraz con la sustancia y su concentración o se almacena en un frasco de vidrio, también etiquetado.

Dilución de disoluciones

Si al cocinar un caldo te sale muy salado y lo quieres con sabor más suave ¿qué puedes hacer? Y si el color de una pintura es demasiado intenso y quieres rebajarlo ¿qué haces? Muy sencillo: añades agua, con lo que obtienes una disolución más diluida, con menor sabor o color.

En el laboratorio se dispone de un HCl concentrado, aproximadamente 12 mol/L. Sin embargo, como reactivo se suele utilizar en concentraciones de 1 mol/L o menores. ¿Qué debes hacer para preparar la disolución que necesitas?



Si te fijas en el dibujo, verás que se trata de tomar un volumen V_c de la disolución concentrada, de concentración C_c , y añadir un volumen de agua, V_{agua} (es decir, $C_c > C_d$). El volumen de la disolución diluida es la suma de los volúmenes mezclados ($V_d = V_c + V_{\text{agua}}$).

Pero la cantidad de sustancia de soluto en el volumen V_c de disolución concentrada es la misma que en el volumen V_d de disolución diluida, ya que se añade solamente agua; es decir, $n_c = n_d$. Escribiendo las cantidades de sustancia en función de la concentración y del volumen, se tiene la expresión final, que es la que se utiliza habitualmente:

$$C_c \cdot V_c = C_d \cdot V_d$$

Date cuenta de que debes saber tres de las cuatro magnitudes para poder calcular la que te falte.

En la imagen anterior puedes ver que si la disolución inicial está coloreada, la diluida tiene un color más claro. Fíjate ahora en las imágenes siguientes, que corresponden a un proceso de dilución real.



¿Y qué sucede cuando concentras una disolución? La forma más práctica es eliminar disolvente. Observa lo que le sucede a una disolución de sal común en agua cuando se evapora a sequedad: precipita el cloruro de sodio sólido que había disuelto.

Mezclas de disoluciones

Si mezclas disoluciones de la misma concentración, la concentración de la mezcla permanecerá constante, ya que la mezcla no la ha modificado.

Al diluir una disolución, un volumen determinado de disolución se mezcla con agua, con lo que la concentración disminuye. Pero ¿qué sucede cuando se mezclan dos disoluciones de la misma sustancia con concentraciones diferentes?

Fíjate en la imagen, con dos disoluciones de la misma sustancia pero de diferente concentración: el color es más intenso cuanto más concentrada está la disolución. Al mezclar ambas disoluciones, el color será intermedio: si mezclas disoluciones de concentraciones diferentes, la concentración cambiará, siendo intermedia con respecto a las de las disoluciones mezcladas.



En el caso particular de que los volúmenes mezclados sean iguales, la concentración será exactamente la media: la disolución resultante de mezclar 50 mL de HCl 0,1 mol/L con 50 mL de HCl 0,3 mol/L tiene una concentración de 0,2 mol/L.

6.4 Solubilidad y temperatura

Observa la imagen. Verás que, en general, la solubilidad de los sólidos mejora al calentar la disolución: en algunas sustancias como el nitrato de potasio aumenta muy apreciablemente, mientras que en otras, como el cloruro de sodio, el aumento es pequeño.

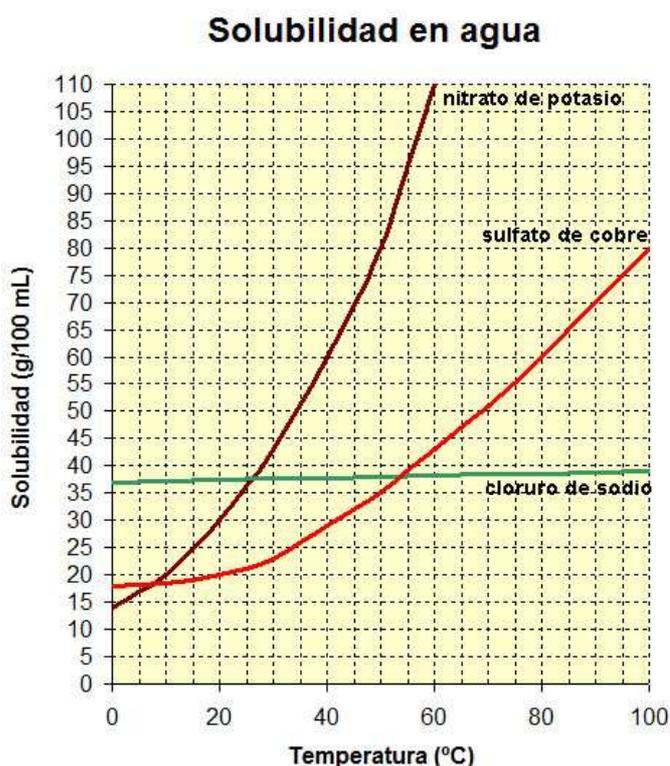
De todos modos, el margen de cambio de temperatura es pequeño, entre 0 y 100 °C, que es el intervalo en el que es líquida el agua.

Recristalizaciones

Si una disolución se enfría, al disminuir la solubilidad aparece soluto sólido, que precipita en el fondo del recipiente o sobre núcleos de cristalización.

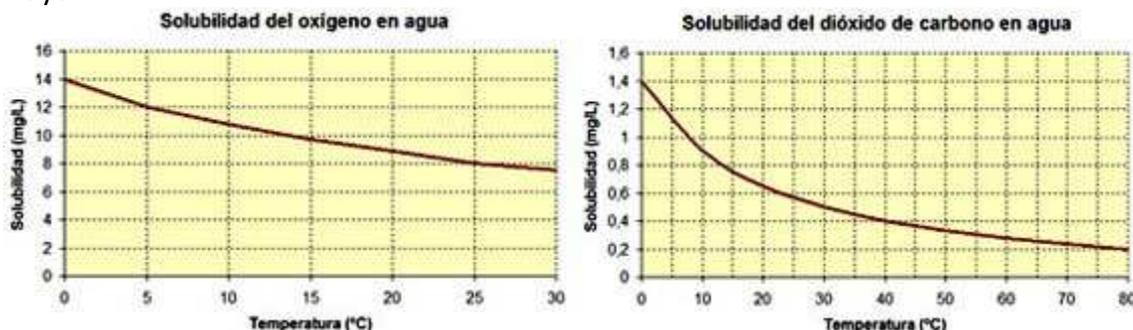


Lo mismo sucede si se deja evaporar el disolvente, ya que entonces se disuelve también menos soluto.



Solubilidad de gases

Fíjate en las gráficas siguientes: los gases se disuelven menos conforme la temperatura del agua es mayor.



6.5 Propiedades de las disoluciones

Las propiedades de las disoluciones difieren en general de las del disolvente o del soluto por separado.

Volumen de exceso

Cuando se mezclan dos líquidos, el volumen de la mezcla suele ser menor que el de los dos líquidos por separado. Por ejemplo, si se mezclan 50 mL de agua con 50 mL de etanol en una probeta de 100 mL, se observa que el volumen de la mezcla es de unos 97 mL.

Descenso crioscópico y aumento ebulloscópico

El punto de congelación de las disoluciones acuosas es menor que el del agua, y el ebullición es mayor.

Utiliza la simulación siguiente para comprobar ambos extremos: el descenso crioscópico y el aumento ebulloscópico. Fíjate que en el agua es apreciablemente mayor el segundo efecto.

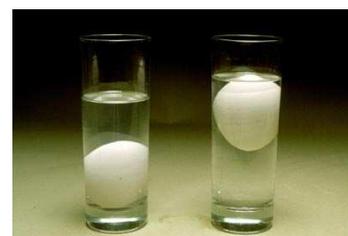
Realiza la siguiente actividad en tu casa: pon agua del grifo en dos vasos hasta la mitad; a uno de ellos le añades sal y agitas hasta que se disuelva. Colócalos en un congelador y observa cuál se hiela antes o si se hielan ambos (dependerá de la temperatura mínima que alcance el congelador). Observarás que se congela antes el agua sin sal.

Este hecho tiene una aplicación práctica muy conocida: en invierno se echa sal en las carreteras para evitar que se formen capas de hielo. Con el mismo fin, los anticongelantes de los circuitos de refrigeración de los coches tienen etilenglicol (un tipo de alcohol) disuelto en agua.

Densidad

La densidad de las disoluciones es mayor que la del agua, ya que la densidad de los solutos también es mayor en prácticamente todos los casos.

Fíjate en la imagen. Coloca un huevo en un vaso con agua, y verás que se hunde, ya que el agua es menos densa que él. Pero si añades sal, al disolverse aumenta la densidad de la disolución, y el huevo llega a flotar.



¿Has oído hablar de la salinidad del Mar Muerto, en Oriente Próximo? Es tan grande que se flota en él, y resulta muy difícil intentar sumergirse.



Ósmosis

Cuando se ponen en contacto dos disoluciones de diferente concentración separadas por una membrana semipermeable, las partículas de agua, que son las más pequeñas, pasan a través de los poros de la membrana desde la disolución más diluida a la más concentrada, hasta que las dos disoluciones tienen la misma concentración. Este fenómeno se llama ósmosis y se da en procesos como la absorción de agua por las plantas. También tiene lugar en las células, como puedes ver en la animación.



Tabla Periódica de los Elementos

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 IA	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 1.00784	2 He 4.002602	3 Li 6.941	4 Be 9.012182	5 B 10.811	6 C 12.0107	7 N 14.00674	8 O 15.9994	9 F 18.9984032	10 Ne 20.1797	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	21 Sc 44.955910	22 Ti 47.887	23 V 50.9415	24 Cr 51.9961	25 Mn 54.938049	26 Fe 55.8457	27 Co 58.933200	28 Ni 58.6934	29 Cu 63.546	30 Zn 65.409	31 Ga 69.723	32 Ge 72.64	33 As 74.92150	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.798
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	57 to 71 Lanthanides	72 Hf 178.49	73 Ta 180.9479	74 W 183.84	75 Re 186.207	76 Os 190.23	77 Ir 192.217	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)
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 to 103 Actinides	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (266)	107 Bh (264)	108 Hs (269)	109 Mt (268)	110 Ds (271)	111 Rg (272)	112 Uub (285)	113 Uut (284)	114 Uuq (289)	115 Uup (288)	116 Uuh (288)	117 Uus (289)	118 Uuo (289)

c Alkalinos
Br Alcalinotérreos
H Metales de transición
Tc Lantánidos
c Actínidos
Br Metales del bloque p
H No metales
Tc Gases nobles
c Solid
Br Liquid
H Gas
Tc Synthetic

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.

Tema 2. Reacciones químicas

Al echar un vistazo a tu alrededor, puedes observar cómo se encuentra en continuo cambio. Ya sea de forma espontánea, al mezclar o al calentar sustancias, se producen cambios en ellas.

Sin embargo, si observas estos cambios más detenidamente, puedes encontrar algunos que no modifican la naturaleza de la sustancia original, como por ejemplo el charco de agua que va desapareciendo al evaporarse o la disolución de una cucharada de sal en un vaso de agua, en los cuales no cambia la naturaleza de las sustancias presentes. Lo mismo ocurre con los procesos de fabricación de útiles de aluminio y su reciclado.

En otros casos, el cambio es mucho más drástico: el resultado es una sustancia absolutamente diferente a la inicial. Algunos ejemplos de estos cambios son la combustión de la madera en una hoguera, la aparición de óxido en la superficie de un clavo de hierro o la obtención de metales como el aluminio a partir de sus menas minerales.

Cambios físicos y cambios químicos

Los cambios en la materia pueden ser de dos tipos:



Físicos: son aquellos en los que no se producen cambios en la naturaleza de la materia que interviene, es decir, la composición de la sustancia es la misma antes que después del cambio. Ejemplos de cambios físicos son:

- Los cambios de estado.
- La disolución de un sólido.
- La separación de mezclas.



Químicos: en ellos el cambio es mucho más drástico, modificándose la naturaleza de la materia misma. En un cambio de este tipo desaparecen unas sustancias y aparecen otras nuevas. También reciben el nombre de reacciones químicas.

¿Cambio físico o reacción química?

Es casi seguro que se produce una reacción química cuando se quema una sustancia, precipita un sólido, se desprende un gas en una disolución, se genera luz o calor, se transforma visiblemente una sustancia como el hierro cuando se oxida, etc.

Pero en muchas ocasiones es difícil distinguir si un cambio producido en la materia corresponde a un cambio de tipo físico o a una reacción química, sobre todo si no hay cambios visibles.

Por esa razón es necesario un criterio que permita dicha distinción sin lugar a dudas. La mejor solución es utilizar el modelo de partículas para observar el cambio a escala de partículas, teniendo en cuenta que **en una reacción química se produce una ruptura de enlaces entre los átomos de los reactivos con una posterior creación de nuevos enlaces que dan lugar a los productos.**

Por lo tanto, hay que analizar si se observan cambios o no en el diagrama de partículas del proceso: si no los hay, se trata de un proceso físico, pero si cambian las partículas, es una reacción química.

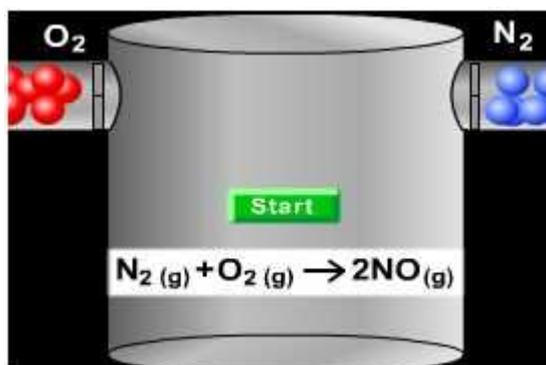
Las reacciones químicas

Las partículas no son visibles, sea cual sea el estado físico en que se encuentren las sustancias. Cuando las sustancias reaccionan y se transforman en otras diferentes, lo único que se puede hacer es observar los productos de la reacción.

Observa cómo se quema el magnesio al reaccionar con el oxígeno del aire por acción del calor. Se forma una sustancia blanca pulverulenta, que nada tiene que ver con el aspecto metálico del magnesio.

El modelo de partículas permite interpretar cómo unas sustancias se transforman en otras diferentes, aunque las partículas que las constituyen no sean visibles.

La teoría atómico-molecular supone que las sustancias están formadas por átomos, moléculas o iones. Una reacción química se produce cuando los átomos que forman las sustancias originales, llamadas **reactivos**, se recombinan para dar lugar a unas nuevas sustancias denominadas **productos**. Una ecuación química es una representación simbólica de una reacción química.



También informa sobre las cantidades relativas de las sustancias que intervienen en la reacción, indicadas por los denominados **coeficientes estequiométricos**, números que se colocan delante de cada fórmula para indicar cuanta sustancia de cada tipo reacciona. En el caso de que tengan valor unidad, se omiten.

En una ecuación química figuran dos miembros: en el primero, las fórmulas de los reactivos, y en el segundo, las de los productos. Para separar ambos miembros se utiliza una flecha, que generalmente se dirige hacia la derecha, indicando el sentido de la reacción:

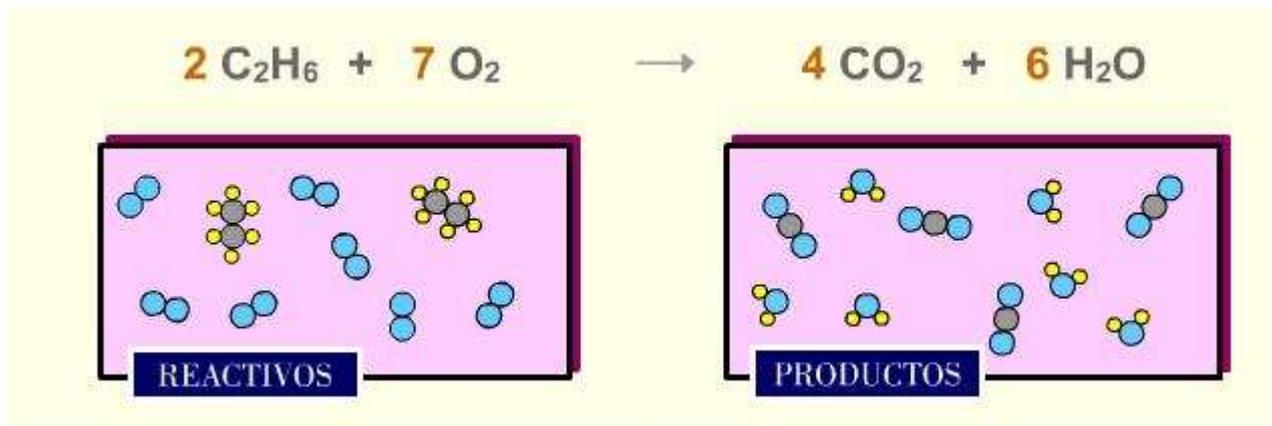


Además, suele indicarse el estado físico en el que se encuentran las diferentes sustancias participantes, mediante unos símbolos que se colocan entre paréntesis detrás de cada una de ellas. Estos símbolos son:

- **(s)**: indica que la sustancia está en estado sólido.
- **(l)**: indica que la sustancia está en estado líquido.
- **(g)**: indica que la sustancia en estado gaseoso.
- **(aq)**: indica que la sustancia se encuentra disuelta en agua.

Se dice que una ecuación química está **ajustada** cuando el número de átomos de cada elemento en cada uno de los lados de la ecuación es el mismo. Es decir, hay el mismo número de átomos de cada tipo en reactivos y en productos, con lo que la masa evidentemente se conserva. Observa la reacción de síntesis del NO y justifica el cambio del tipo de partículas conservándose el número total de átomos de cada elemento químico.

Fíjate en la reacción de combustión del etano. Comprueba que hay el mismo número de átomos de C, H y O en reactivos y en productos.



Ajustando ecuaciones de reacciones químicas

El proceso que debes seguir para ajustar una ecuación química es el siguiente:

1. Escribe la reacción en la forma Reactivos → Productos.
2. Observa los átomos de cada tipo que hay a cada lado de la reacción.
3. Si hay algún tipo de átomo que no está compensado, añade el coeficiente estequiométrico correspondiente para que el número se iguale. En caso que haya más de un tipo, comienza por el que pertenezca a la partícula más compleja.
4. Comprueba si la inclusión de este coeficiente ha descompensado algún otro tipo de átomo, y repite el proceso hasta que consigas que el número de átomos de cada tipo sea el mismo a ambos lados.

Ecuaciones químicas y proporciones de combinación

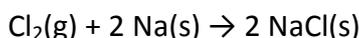
A escala de partículas, la ecuación química indica el número de partículas de cada tipo que reacciona. Pero ¿y a escala macroscópica?

Fíjate en que si una molécula de hidrógeno reacciona con una de cloro, también reaccionarán N_A moléculas de cada tipo. Pero como N_A es el número de partículas que hay en un mol, puedes concluir que también reacciona un mol de cada sustancia.

Por tanto, también puedes decir que 2 gramos de hidrógeno (la masa de un mol de H₂) reaccionan con 71 g de cloro (la masa de un mol de Cl₂).

O de otra forma, que la proporción de combinación es de 71 g de cloro por cada 2 g de hidrógeno. Precisamente ¡la ley de las proporciones constantes!

De la misma forma, cuando el cloro reacciona con el sodio para formar cloruro de sodio, la proporción de combinación es de 71 g de cloro con 46 g de sodio (la masa de un mol de cloro reacciona con la masa de dos moles de sodio).



La cantidad de sustancia en las ecuaciones químicas

La proporción de combinación en partículas que se indica en una ecuación química coincide con la proporción de combinación en cantidades de sustancia, medida en moles.

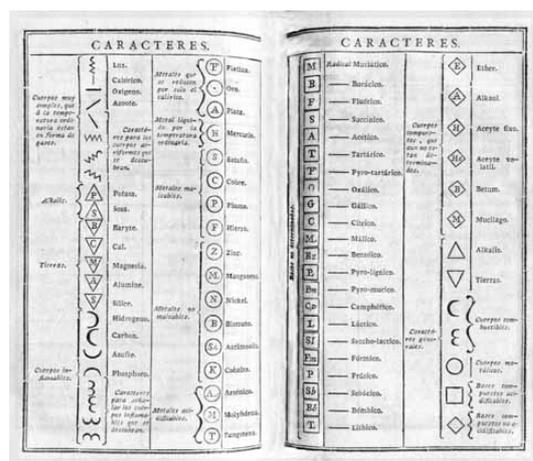
La cantidad de sustancia se puede calcular de varias formas, según cuál sea la sustancia:

- En sólidos (y en general): $n=m/M$ (cociente entre la masa y la masa molar).
- En sustancias disueltas: $n=Vc$ (producto de la concentración por el volumen).
- En gases: $n=PV/RT$ (despejando en la ecuación de los gases).

1. Formulación y nomenclatura

La nomenclatura química tiene como objetivo describir las sustancias químicas mediante nombres y fórmulas que permitan identificarlas sin ambigüedad, facilitando así la comunicación científica.

Desde los primeros tiempos, los alquimistas fueron dando nombres a los elementos y a las sustancias simples y compuestas, y les asignaron un símbolo, que con frecuencia se refería a aspectos de la mitología o de la naturaleza de las sustancias (aceite de vitriolo, agua fuerte, ...).



A mediados del siglo XVIII, la química se desarrollaba y los nombres y símbolos de las sustancias químicas no facilitaban la comunicación entre los químicos. En **1787**, basada en las ideas de Guyton de Morveau y firmada por los químicos más importantes de la época (Lavoisier, Fourcroy, Berthollet y él mismo), se publicó la obra, **Méthode de nomenclature chimique**, que fue el inicio de una nomenclatura sistemática.

A principios del siglo XIX, J.Berzelius introdujo una nueva nomenclatura, ya con fórmulas muy parecidas a las actuales.

En el siglo XX, la **Unión Internacional de Química Pura y Aplicada** (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), **IUPAC**, a través de sus comisiones para la nomenclatura inorgánica, orgánica y bioquímica, ha sido la encargada de dar las normas para la nomenclatura y formulación de las sustancias químicas. Las últimas, hasta el momento, se publicaron en 2007 en la versión en español.

Electronegatividad y orden de escritura en las fórmulas

En las fórmulas químicas de los compuestos inorgánicos formados al menos por dos elementos diferentes, la posición de los elementos sigue el orden creciente de electronegatividad, que es una medida de la capacidad de un átomo o grupo de átomos para atraer los pares de electrones compartidos en un enlace.

Los no metales son elementos con electronegatividad alta, ya que captando pocos electrones completan su capa electrónica más externa. Por otro lado, los metales tienen electronegatividad baja, ya que tienen que perder pocos electrones para que su capa exterior quede completa. Los gases nobles no tienen electronegatividad, puesto que como no forman enlaces no es posible medir su electronegatividad.

Números de oxidación

El **número de oxidación** de un átomo en una molécula (el C en el CO_2) o en un ión poliatómico (el S en el SO_4^{2-}) es un número positivo o negativo, que representa la carga que quedaría en el átomo dado, si los pares electrónicos de cada enlace que forman se asignaran al elemento más electronegativo del par de enlace. En el caso de iones monoatómicos, es la carga del ión.

Los números de oxidación están relacionados con la estructura electrónica de los átomos y su tendencia a ganar o perder electrones para completar la capa electrónica más externa (regla del octete).

Recuerda que la estructura está directamente relacionada con la posición en la tabla periódica: el número de electrones de la capa más externa coincide con el número del grupo en los metales (elementos de la izquierda de la tabla, poco electronegativos) o con el número de electrones que falta para completarla en los no metales (elementos de la derecha).

Se utilizan los convenios siguientes:

- El número de oxidación del hidrógeno es +1 cuando se combina con elementos no metálicos (-1 cuando se combina con elementos metálicos formando hidruros).
- El número de oxidación del oxígeno es -2 (salvo en los peróxidos, en los que es -1).
- El número de oxidación de un ión simple coincide con su carga.
- En una sustancia simple, el número de oxidación de los átomos es cero.
- La suma de los números de oxidación de los átomos que constituyen un compuesto neutro, multiplicados por los correspondientes subíndices, es cero, o coincide con la carga del ión si se trata de un ión.

Criterios generales de formulación y nomenclatura

Por convenio, en las fórmulas de las sustancias se escriben primero los elementos de menor electronegatividad si se forman enlaces covalentes o los iones positivos si la sustancia es iónica (H_2O , NaCl , CuSO_4).

Para **nombrar los compuestos** se empieza nombrando el último elemento y se acaba por el primero: NaCl es cloruro de sodio.

En la **nomenclatura sistemática**, para indicar la proporción estequiométrica de los elementos

Prefijos numerales					
Mono	1	Penta	5	Nona	9
Di	2	Hexa	6	Deca	10
Tri	3	Hepta	7	Undeca	11
Tetra	4	Octa	8	Dodeca	12

en un compuesto se utilizan los prefijos numerales, que se añaden a los nombres de los elementos a los que se refiere. Se mantienen todas las letras del prefijo (tetrahidruro de plomo), con una excepción: se dice monóxido.

También se utiliza el **sistema de Stock**, en el que se indica la valencia o número de enlaces formados por el elemento, que se escriben en números romanos entre paréntesis inmediatamente después de su nombre.

1.1 Sustancias simples

Las **sustancias simples** o **elementales** son sustancias formadas por un solo elemento.

Las sustancias elementales sin fórmula molecular definida se nombran como el elemento y se representan por su símbolo: el Fe se nombra hierro.

Las sustancias elementales con estructura molecular definida se nombran con un prefijo numeral seguido del nombre del elemento: el H₂ se nombra dihidrógeno, aunque habitualmente se le da el nombre de hidrógeno.

Iones simples

En este caso se debe emplear la palabra ión para indicar que se trata de un átomo o grupo de átomos con carga.

Aniones

Los aniones son iones con carga negativa.

Los aniones monoatómicos se nombran con el nombre del átomo correspondiente con el sufijo **-uro**, excepto en el caso del oxígeno, en el que el sufijo es **-ido** (óxido). Si fuera necesario, se utilizaría un prefijo numeral: Cl⁻ se nombra ión cloruro.

Cationes

Los cationes son iones con carga positiva.

Los cationes monoatómicos se nombran como el átomo correspondiente, pero en el caso de átomos que pueden tener distintos estados (números) de oxidación, se indica entre paréntesis: Fe²⁺ se nombra ión hierro (II) o ión hierro (+2).

Iones poliatómicos

Iones poliatómicos muy importantes son: OH⁻, ión hidróxido; NH₄⁺, ión amonio, H₃O⁺, ión hidronio y MnO₄⁻ (permanganato).

1.2 Compuestos binarios

Para formular

Como son combinaciones de dos elementos, se escribe el símbolo del elemento menos electronegativo a la izquierda y el del elemento más electronegativo a la derecha, intercambiando el número de oxidación sin signo, y se simplifican los subíndices si es posible (se trata de que el compuesto tenga carga nula). El subíndice 1 se suprime.



En la imagen puedes ver el caso del Fe_2O_3 .

Para nombrar

Nomenclatura sistemática

Lee la fórmula de derecha a izquierda. Nombra el primer elemento (raíz del nombre) con la terminación **-uro**, excepto si es el oxígeno que leerás **óxido**, seguido de la partícula "de" y el nombre del segundo elemento. Utiliza los prefijos numerales para indicar el número de átomos del primer elemento y del segundo (si es distinto de uno).

Fórmula	Nomenclatura sistemática
PCl_5	Pentacloruro de fósforo
FeH_2	Dihidruro de hierro
Fe_2O_3	Trióxido de dihierro
N_2O_5	Pentaóxido de dinitrógeno

Sistema de Stock

Procede igual que en el caso anterior, pero sin prefijos numerales, y después del nombre del segundo elemento, pones su número de oxidación escrito en números romanos y entre paréntesis. Si el elemento solo presenta un número de oxidación, como sucede con los elementos alcalinos y los alcalinotérreos, no es necesario escribirlo.

Fórmula	Sistema de Stock
PCl_5	Cloruro de fósforo (V)
FeH_2	Hidruro de hierro (II)
Fe_2O_3	Oxido de hierro (III)
N_2O_5	Oxido de nitrógeno (V)

Hidruros con nombres tradicionales

Las combinaciones del hidrógeno con algunos elementos no metálicos tienen nombres especiales: H_2O , agua; CH_4 , metano; NH_3 , amoníaco.

Ácidos hidrácidos

Con los elementos de los grupos 16 (S, Se y Te) y 17 (F, Cl, Br y I), y de acuerdo con el convenio de la IUPAC, el hidrógeno presenta número de oxidación +1. Los compuestos que se forman son gases y debes seguir la norma general para formularlos, y nombrarlos con la nomenclatura sistemática.

Fórmula	En disolución acuosa
H_2S	Acido sulfhídrico.
HCl	Acido clorhídrico.
HBr	Acido bromhídrico

Los compuestos del párrafo anterior, en disolución acuosa se comportan como ácidos y los nombrarás con la palabra "ácido" seguida del nombre del elemento con la terminación **-hídrico**.

1.3 Compuestos ternarios

Los compuestos ternarios son combinaciones de tres elementos.

Hidróxidos

Los hidróxidos están formados por el grupo OH^- , que actúa con número de oxidación -1, y un metal.

Para formular, se escribe el símbolo del metal seguido del OH, entre paréntesis, e intercambia los números de oxidación como subíndices sin signo. Si el subíndice del grupo OH es 1 no se escribe el paréntesis.

Para nombrar, se utiliza el mismo procedimiento que en los compuestos binarios. Empieza con "hidróxido de", seguido del nombre del metal y utiliza los prefijos numerales o el sistema de Stock.

Fórmula	Sistema de Stock	Nomenclatura sistemática
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	hidróxido de calcio	dihidróxido de calcio.
$\text{Pb}(\text{OH})_2$	hidróxido de plomo (II)	dihidróxido de plomo.
AgOH	hidróxido de plata	monohidróxido de plata.
$\text{Sn}(\text{OH})_4$	hidróxido de estaño (IV)	tetrahidróxido de estaño.
NH_4OH	hidróxido de amonio	monohidróxido de amonio.

Oxoácidos

Son compuestos ternarios formados por hidrógeno, oxígeno y un no metal.

En la tabla siguiente tienes las fórmulas y los nombres de los ácidos oxoácidos, para los que está aceptada la nomenclatura tradicional. Junto a cada uno aparece la fórmula y nombre del ión que forman, y que da lugar a las sales correspondientes (ácido carbónico, ión carbonato).

Lo más práctico es aprender la lista de ácidos e iones.

	H_2CO_3 (carbónico)		
	CO_3^{2-} (carbonato)		
	HNO_3 (nítrico)	HNO_2 (nitroso)	
	NO_3^- (nitrato)	NO_2^- (nitrito)	
	H_2SO_4 (sulfúrico)	H_2SO_3 (sulfuroso)	H_2SO_2 (hiposulfuroso)
	SO_4^{2-} (sulfato)	SO_3^{2-} (sulfito)	SO_2^{2-} (hiposulfito)
HClO_4 (perclórico)	HClO_3 (clórico)	HClO_2 (cloroso)	HClO (hipocloroso)
ClO_4^- (perclorato)	ClO_3^- (clorato)	ClO_2^- (clorito)	ClO^- (hipoclorito)

Oxoaniones

Los oxoaniones son los aniones poliatómicos que resultan de quitar los hidrógenos a los oxoácidos.

Para formular, se escribe la fórmula del oxoácido, se quitan los hidrógenos y se pone, como carga del ión, el número de hidrógenos con signo negativo.

Por ejemplo, en H_2SO_4 , al quitar los dos hidrógenos resulta SO_4^{2-} y en HNO_2 , al quitar el hidrógeno resulta NO_2^- .

Para nombrar, al nombre del oxoácido se le sustituye la palabra "ácido" por "ión" y la terminación **-ico** por **-ato** y **-oso** por **-ito**. Así, el H_2SO_4 , ácido sulfúrico forma SO_4^{2-} ión sulfato, y el HNO_2 , ácido nitroso NO_2^- forma ión nitrito.

Oxosales

Las oxosales se consideran como un compuesto binario formado por un anión poliatómico (oxoanión) y un catión.

Para formular se escribe el catión seguido del anión e intercambia las cargas de los iones como subíndices sin signo. Así se consigue que la sal sea neutra, teniendo en cuenta la carga de los iones presentes en el compuesto.

Para nombrar, se nombra el anión sin la carga seguido de la partícula "de" y el nombre del catión.

Ejemplos de formulación y nomenclatura de oxosales			
Anión	Catión	Sal	Nombre de la sal
CO_3^{2-}	Cu^+	Cu_2CO_3	Carbonato de cobre (I)
NO_3^-	NH_4^+	NH_4NO_3	Nitrato de amonio
SO_3^{2-}	Al^{3+}	$\text{Al}_2(\text{SO}_3)_3$	Sulfito de aluminio
MnO_4^-	K^+	KMnO_4	Permanganato de potasio
ClO_4^-	Ca^{2+}	$\text{Ca}(\text{ClO}_4)_2$	Perclorato de calcio
PO_4^{3-}	Ag^+	Ag_3PO_4	Fosfato de plata
CrO_4^{2-}	Pt^{4+}	$\text{Pt}(\text{CrO}_4)_2$	Cromato de platino (IV)
ClO_3^-	Li^+	LiClO_3	Clorato de litio
ClO_2^-	Ba^{2+}	$\text{Ba}(\text{ClO}_2)_2$	Clorito de bario
ClO^-	Na^+	NaClO	Hipoclorito de sodio
NO_2^-	Pb^{2+}	$\text{Pb}(\text{NO}_2)_2$	Nitrito de plomo (II)
SO_4^{2-}	Fe^{2+}	FeSO_4	Sulfato de hierro (II)

Las sales que mantienen algún hidrógeno del ácido (sea hidrácido u oxoácido) reciben el mismo nombre pero indicando el número de hidrógenos que tiene. Por ejemplo, el NaHCO_3 , cuyo nombre vulgar es bicarbonato de sodio se llama también hidrogenocarbonato de sodio.

1.4 Resumen

Ionizaciones

En Química vas a utilizar con frecuencia reacciones en las que una o varias sustancias forman iones, bien porque son iónicas y pasan del sólido a una disolución (NaCl), o porque siendo moleculares forman iones al disolverse (electrolitos como el HCl).

Lo único que debes tener en cuenta es que los óxidos metálicos y los hidróxidos son iónicos, lo mismo que la gran parte de las sales, tanto de ácidos hidrácidos como oxoácidos. Estos ácidos son moleculares, pero al disolverlos en agua también se ionizan (son **electrolitos**).

Debes tener en cuenta que la carga de los iones metálicos es siempre positiva y que se forman los iones H^+ , O^{2-} y OH^- . En cuanto a las sales de ácidos oxoácidos, las cargas de los aniones formados

coinciden con el número de hidrógenos que tiene el ácido (NO_3^- a partir del HNO_3 y CO_3^{2-} a partir del H_2CO_3).

$\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2 \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Al}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3 \text{OH}^-$
$\text{PbO}_2 \rightarrow \text{Pb}^{4+} + 2 \text{O}^{2-}$	$\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2 \text{Na}^+ + \text{CO}_3^{2-}$	$\text{KMnO}_4 \rightarrow \text{K}^+ + \text{MnO}_4^-$
$\text{K}_2\text{CrO}_4 \rightarrow 2 \text{K}^+ + \text{CrO}_4^{2-}$	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow 2 \text{K}^+ + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$
$\text{Fe}_2(\text{SO}_3)_3 \rightarrow 2 \text{Fe}^{3+} + 3 \text{SO}_3^{2-}$	$\text{Sn}(\text{NO}_3)_4 \rightarrow \text{Sn}^{4+} + 4 \text{NO}_3^-$

Formulación y nomenclatura

A continuación tienes una tabla con ejemplos de formulación y nomenclatura de compuestos habituales (óxidos, hidróxidos, hidruros, ácidos y sales).

Función	Descripción	Ejemplos	
Sustancias elementales	Formadas por un solo elemento	O_2	Oxígeno (Dioxígeno)
		P_4	Fósforo (Tetrafósforo)
		S_8	Azufre (Octoazufre)
Óxidos	Formados por el anión óxido O^{2-} , que actúa con número de oxidación -2, y un elemento.	Fe_2O_3	Óxido de hierro (III)
		CaO	Óxido de calcio
		PbO_2	Óxido de plomo (IV) Dióxido de plomo
Hidruros	Formados por el anión H^- , que actúa con número de oxidación -1, y un metal.	LiH	Hidruro de litio
		AlH_3	Hidruro de aluminio
		SnH_4	Hidruro de estaño (IV)
Ácidos hidrácidos	Formados por el catión H^+ , con los elementos de los grupos 16 (S, Se y Te) con número de oxidación -2, y 17 (F, Cl, Br y I) con número de oxidación -1.	HCl	Ácido clorhídrico
		HF	Ácido fluorhídrico
		H_2S	Ácido sulfhídrico
Cationes monoatómicos	Formados por metales con número de oxidación +n	Mg^{2+}	Catión magnesio
		Cu^+	Catión cobre (I)
		Au^{3+}	Catión oro (III)
Aniones monoatómicos	Formados por los elementos de los grupos 16 (S, Se y Te) con número de oxidación -2, y 17 (F, Cl, Br y I) con número de oxidación -1.	S^{2-}	Anión sulfuro
		Cl^-	Anión cloruro
		F^-	Anión fluoruro
Sales binarias	Formados por un catión monoatómico con un anión monoatómico.	KI	Yoduro de potasio
		AgBr	Bromuro de plata
		Ni_2S_3	Trisulfuro de níquel Sulfuro de níquel (III)

Hidróxidos	Formados por el grupo OH^- , que actúa con número de oxidación -1, y un metal.	NaOH	Hidróxido de sodio
		Ni(OH)₃	Hidróxido de níquel (III) Trihidróxido de níquel
		Pb(OH)₄	Hidróxido de plomo (IV) Tetrahidróxido de plomo
Ácidos oxoácidos	Son compuestos ternarios formados por hidrógeno, oxígeno y un no metal (o un metal con elevado número de oxidación).	H₂SO₄	Ácido sulfúrico Ácido tetraoxosulfúrico (VI)
		HClO	Ácido hipocloroso Ácido monoxoclórico (I)
		HNO₃	Ácido nítrico Ácido trioxonítrico (V)
Oxoaniones	Son los aniones poliatómicos que resultan de quitar los hidrógenos a los oxoácidos.	CO₃²⁻	Anión carbonato
		NO₃⁻	Anión nitrato
		SO₄²⁻	Anión sulfato
Oxisales	Formados por un anión poliatómico (oxoanión) y un catión.	Na₂SO₄	Sulfato de sodio
		Al(NO₃)₃	Nitrato de aluminio
		CaCO₃	Carbonato de calcio

2. Tipos de reacciones químicas

Las sustancias reaccionan entre sí de maneras muy diversas: el gran número de reacciones químicas que se producen justifica la necesidad de clasificarlas para su estudio.

Hay diferentes tipos de reacciones químicas y varias formas de clasificarlas según el criterio elegido. Los criterios que se siguen son generalmente cuatro: el energético, el cinético, la transformación que se produce y la partícula intercambiada.

Criterio energético

- Exotérmicas.
- Endotérmicas.

Criterio cinético

- Rápidas.
- Lentas.

Según la transformación que se produce

- Síntesis.
- Descomposición.
- Sustitución.

Según la partícula intercambiada

- Reacciones ácido-base.
- Reacciones de oxidación-reducción (redox).
- Reacciones de precipitación.



Los aspectos energético y cinético de las reacciones comenzaste a verlos en la Física y química de 4º de ESO, y se desarrollan en la Química de 2º de Bachillerato.

Ahora vas a trabajar con reacciones clasificadas según la transformación que se produce (cómo se reagrupan los átomos) y según sea la partícula intercambiada (en este caso, también se desarrollan en profundidad en la Química de 2º de Bachillerato, pero hay algunos aspectos que conviene ver ahora por su interés para la Biología y la Geología).

Observa la reacción entre dos gases, amoníaco (NH_3) y ácido clorhídrico (HCl), para formar una sal blanca, cloruro de amonio (NH_4Cl). Los gases difunden uno hacia otro por el tubo, y en la zona en que entran en contacto se produce la reacción y se forma la sustancia blanca.

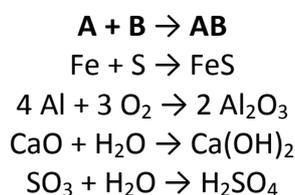
2.1 Reacciones según la transformación que se produce

Reacciones de síntesis

Son reacciones químicas en las que dos o más sustancias (reactivos) se combinan para formar otra distinta (producto) más compleja.

Si los reactivos son elementos se llaman **reacciones de formación**.

La ecuación química general es:

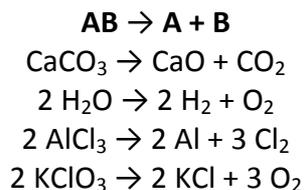


En el vídeo adjunto puedes observar la reacción de formación del cloruro de sodio: $2 \text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2 \text{NaCl}$

Reacciones de descomposición

Son reacciones químicas en las que un compuesto se descompone en dos o más sustancias más simples. Son las inversas de las reacciones de síntesis.

La ecuación química general es:

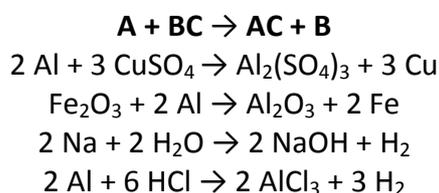


Reacciones de sustitución o desplazamiento

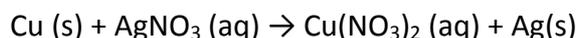
Las reacciones de sustitución o desplazamiento pueden ser simples o dobles.

En una reacción de **sustitución** o **desplazamiento simple**, un elemento es reemplazado por otro elemento más reactivo en un compuesto, para producir un nuevo compuesto y el elemento desplazado.

La ecuación química general es:



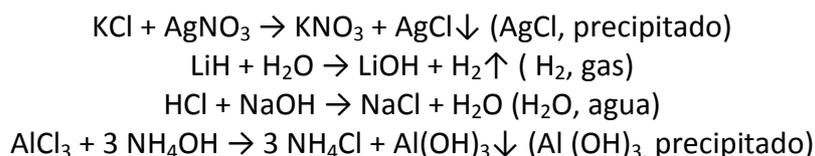
En el vídeo adjunto se vierte disolución de AgNO_3 sobre un hilo de cobre. Cuando se pone en contacto el AgNO_3 con el cobre, observas que el hilo cambia de color y se hace más grueso. Al acercar la imagen ves los cristallitos de plata. Al cabo de un tiempo, la disolución se vuelve azul. Al agitar el hilo la plata se desprende. Se ha producido la reacción:



En una reacción de **doble sustitución** o **desplazamiento** hay dos compuestos químicos que intercambian dos elementos para formar dos nuevos compuestos.

La ecuación química general es: $\mathbf{AB + CD} \rightarrow \mathbf{AD + CB}$

Las reacciones de doble desplazamiento se producen generalmente en disolución acuosa con compuestos iónicos, y en ellas se produce un precipitado (sólido), se forma un gas o se produce agua.



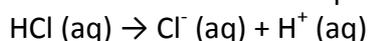
2.2 Reacciones ácido-base

Una reacción ácido-base es una reacción de doble desplazamiento que se produce entre un ácido y una base. En ellas se transfieren **protones**, es decir, iones H^+ .

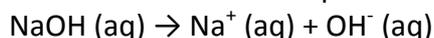
Ácidos y bases de Arrhenius

Un ácido y una base pueden definirse, según Arrhenius (premio Nobel de Química, 1903):

Ácido es toda sustancia que en disolución acuosa se disocia dando iones H^+ .



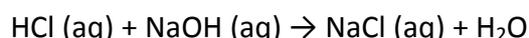
Base es toda sustancia que en disolución acuosa se disocia dando iones OH^- .



Esta definición fue generalizada por Brønsted y Lowry en 1923, siendo un ácido toda especie química que tiene tendencia a donar iones H^+ y una base la que tiene tendencia a aceptar iones H^+ . Es decir, los ácidos ceden protones y las bases los aceptan.

Cuando un ácido y una base reaccionan en disolución acuosa en las proporciones estequiométricas, pierden sus propiedades. A esta reacción se le denomina **reacción de neutralización**.

Considera el ácido clorhídrico, HCl, y el hidróxido de sodio, NaOH, en disolución acuosa. Están disociados y en la disolución existen sus iones, Cl^- , H^+ , Na^+ y OH^- . Los iones H^+ y OH^- forman agua y, por tanto, la ecuación química que representa el proceso es:



La neutralización

En las reacciones de neutralización en las que la base es un hidróxido se obtiene una sal y agua:



En realidad, se neutralizan los iones H^+ producidos por el ácido con los iones OH^- producidos por el hidróxido, según la reacción:



El pH de las disoluciones

Para medir la acidez de una disolución acuosa se utiliza una escala logarítmica llamada escala de pH. Si la disolución tiene un pH inferior a 7 es ácida y si es superior a 7 es básica. El 7 corresponde al pH neutro, que es el que tiene el agua pura.

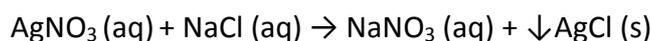


2.3 Reacciones de precipitación

En una reacción de precipitación la partícula intercambiada es un ión. Se produce, en general, en disolución acuosa y entre sustancias iónicas. En la reacción, un anión y un



cación se ponen en contacto y dan lugar a un compuesto iónico insoluble que precipita.



Para saber si se produce una reacción de este tipo es necesario saber qué sustancia es insoluble y por esto se ponen en la ecuación química los estados físicos de las sustancias que intervienen.

2.4 Reacciones redox

Las reacciones de oxidación-reducción (redox) implican la transferencia de electrones entre especies químicas. Se llaman también **reacciones de transferencia de electrones** ya que la partícula que se intercambia es el electrón



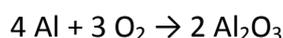
En una reacción de oxidación-reducción tienen lugar los dos procesos a la vez, la oxidación y la reducción.

Oxidación y reducción

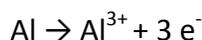
La **oxidación** es el proceso en el cual una especie química pierde electrones y su número de oxidación aumenta.

La **reducción** es el proceso en el cual una especie química gana electrones y su número de oxidación disminuye.

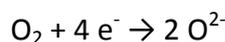
Fíjate en una reacción redox característica: la oxidación del aluminio, que reacciona con el oxígeno para formar óxido de aluminio.



En el transcurso de esta reacción, cada átomo de aluminio pierde tres electrones para formar un ión Al^{3+}



Y cada molécula de O_2 gana cuatro electrones para formar dos iones O^{2-}



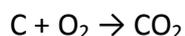
Los electrones que libera el Al son precisamente los que gana el O. Es decir, la oxidación y la reducción se producen a la vez, y se ha de intercambiar el mismo número de electrones, por lo que hacen falta 4 átomos de Al y 6 de O (en 3 moléculas de O_2).

El aluminio cede electrones y el oxígeno los gana. El aluminio actúa como **agente reductor**, se oxida (su número de oxidación pasa de 0 a +3) cediendo tres electrones, mientras que el oxígeno actúa como **agente oxidante**, se reduce (su número de oxidación pasa de 0 a -2) ganando dos electrones.

Las reacciones de combustión

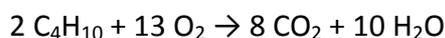
Una reacción de combustión es un tipo de reacción redox en la que un material combustible se combina con el oxígeno del aire para formar, entre otros productos, dióxido de carbono con desprendimiento de energía (reacción exotérmica).

Un ejemplo típico es la reacción del carbono con el oxígeno:

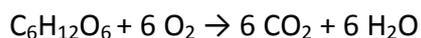


En esta reacción, el carbono cede electrones y el oxígeno los gana. El carbono se oxida y su número de oxidación pasa de 0 a +4 cediendo cuatro electrones, mientras que el oxígeno se reduce y su número de oxidación pasa de 0 a -2 ganando dos electrones.

Normalmente, en una reacción de combustión se combina el oxígeno con un hidrocarburo para formar dióxido de carbono y agua. Un ejemplo es la combustión del butano:



Otro ejemplo es la respiración de los seres vivos, en la que se produce CO_2 y H_2O a partir del oxígeno del aire y la glucosa, mediante un proceso que se puede resumir en la ecuación:



3. Cálculos en las reacciones químicas

La parte de la Química que estudia las relaciones cuantitativas entre los reactivos y los productos que intervienen en una reacción química se denomina **estequiometría**.

El término estequiometría -del griego "στοιχειον" = stoicheion (elemento) y "μετρον"=*métrón*, (medida)- fue introducido por primera vez por Richter en 1792.

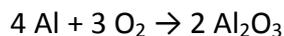
Cuando quieres obtener una cantidad de un producto determinado necesitas saber qué cantidad de reactivo debes utilizar o, a la inversa, dispones de una cantidad de reactivo y quieres saber cuánto producto puedes obtener. Las ecuaciones químicas ajustadas te proporcionan la información cuantitativa necesaria para dar respuesta a esas cuestiones.

Las distintas operaciones matemáticas que permiten calcular la cantidad de una sustancia que reacciona o se produce en una determinada reacción química reciben el nombre de **cálculos estequiométricos**.

Una reacción se produce en condiciones estequiométricas cuando las cantidades de reactivos están en las proporciones idénticas a las de la ecuación química ajustada.



Como ejemplo, considera la reacción del aluminio con el oxígeno para formar óxido de aluminio, que se utiliza en los fuegos artificiales para conseguir chispas plateadas. La ecuación química ajustada es:



Esta ecuación puedes leerla a escala de partículas: cuando el aluminio reacciona con el oxígeno, cuatro átomos de aluminio reaccionan con tres moléculas de oxígeno para formar dos partículas de óxido de aluminio (como es una sustancia iónica, forma una estructura gigante en la que la fórmula indica la proporción de iones en la sustancia, pero no hay ninguna unidad individual que corresponda a esa fórmula).

Si en lugar de 4 átomos de Al dispones de 4 veces el número de Avogadro de átomos (de 4 moles de Al), reaccionarán con 3 moles de O_2 y se formarán 2 moles de Al_2O_3 . Es decir, **la proporción en partículas y en moles es la misma.**

Mediante esa relación estequiométrica podrás calcular la cantidad de producto o de reactivo, según te interese.

Utiliza el siguiente simulador para observar cómo va evolucionando una reacción en función de su estequiometría y de las cantidades de sustancia de reactivos de partida. Desliza la barra para simular el avance de la reacción y justifica en cada momento las cantidades presentes de reactivos y productos.

Para realizar cálculos estequiométricos

Los datos sobre los reactivos y los productos no se expresan, normalmente, en cantidad de sustancia (moles), sino que se expresan en masa (gramos) o en volumen (litros) de disolución o de un gas. Por ello, es necesario seguir un procedimiento en los cálculos estequiométricos.

Los pasos a seguir son:

1º- Escribe la ecuación química ajustada.

2º- Calcula la cantidad de sustancia en moles de la sustancia dato.

3º- Usa la relación estequiométrica para obtener la cantidad de sustancia en moles de la sustancia incógnita.

4º- Convierte la cantidad de sustancia en moles de la sustancia incógnita a la magnitud pedida.

Además, deberás **tener en cuenta si hay reactivos limitantes y en exceso, si hay reactivos impuros o si la reacción no se produce totalmente.**

Estos pasos se pueden realizar de tres formas:

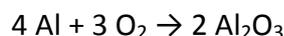
1. Siguiendo los pasos anteriores, calculando cantidades de sustancia que en la mayoría de los casos no necesitas saber, y realizando los cálculos intermedios por separado.

2. Aplicando **la ley de las proporciones constantes**, que simplifica el cálculo porque se realizan conversiones intermedias de cantidades de sustancia de forma directa.

3. Utilizando **factores de conversión**, que no es más que una forma más elegante de aplicar la ley anterior, que en una única operación permite presentar todos los cálculos.

Siguiendo con el ejemplo, ¿qué masa de óxido de aluminio se obtiene si reaccionan 54 g de aluminio con suficiente oxígeno?

1º- La ecuación química ajustada es la que has escrito anteriormente:



2º- El dato son los 54 g de aluminio que reaccionan. Como la masa molar del aluminio es $M(\text{Al}) = 27 \text{ g/mol}$, la cantidad de sustancia de aluminio es:

$$n(\text{Al}) = \frac{m(\text{Al})}{M(\text{Al})} = \frac{54 \text{ g}}{27 \text{ g/mol}} = 2 \text{ mol de Al}$$



3º- La relación estequiométrica entre el Al (dato) y el óxido de aluminio (Al_2O_3) (incógnita) es:

$$\frac{4 \text{ mol de Al}}{2 \text{ mol de Al}_2\text{O}_3} = \frac{2 \text{ mol de Al}}{n(\text{Al}_2\text{O}_3)}$$

Si despejas la cantidad de sustancia de Al_2O_3 ,

$$n(\text{Al}_2\text{O}_3) = 1 \text{ mol de Al}_2\text{O}_3$$

4º- Como te piden la masa de Al_2O_3 que se obtiene, calculas la masa molar del Al_2O_3 , $M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 102 \text{ g/mol}$, y al final resulta:

$$m(\text{Al}_2\text{O}_3) = n(\text{Al}_2\text{O}_3) M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 1 \text{ mol } 102 \text{ g/mol} = 102 \text{ g de Al}_2\text{O}_3$$

3.1 Factores de conversión

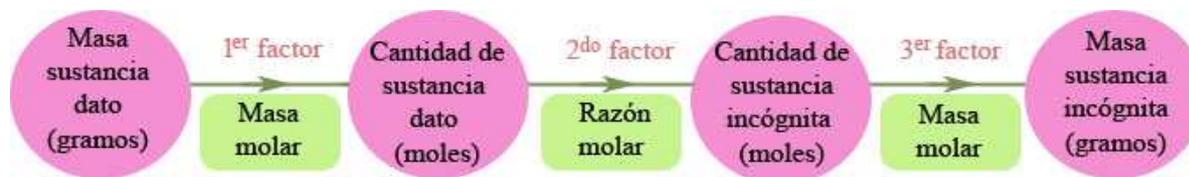
Para evitar muchos de los errores que se cometen al realizar cálculos en las reacciones químicas, se utilizan los **factores de conversión**.

Un factor de conversión es una fracción que relaciona las cantidades de dos sustancias contenidas en la ecuación química ajustada, o cantidades de distintas magnitudes de una misma sustancia.

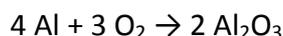
El uso de los factores de conversión supone que debes establecer una secuencia de transformaciones que te facilitará la realización de los cálculos estequiométricos.

Factores de conversión

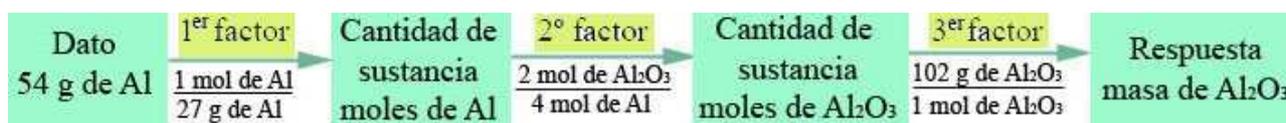
El método de factores de conversión se resume en el siguiente esquema:



Fíjate en cómo se resuelve el ejemplo del apartado anterior, la reacción del aluminio con el oxígeno para formar óxido de aluminio, utilizando factores de conversión:



La secuencia de operaciones sucesivas es:



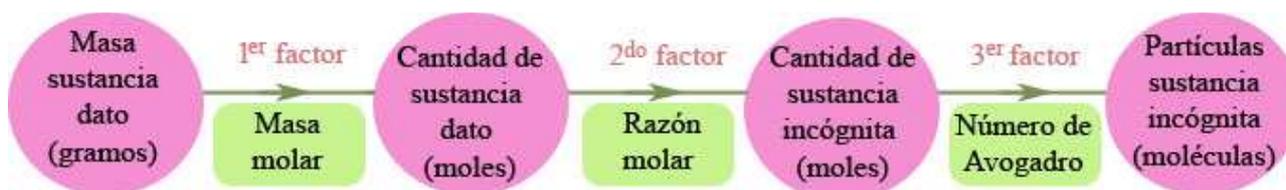
Se necesitan tres factores de conversión y las tres etapas del cálculo quedan resumidas en una:

$$m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 54 \text{ g de Al} \frac{1 \text{ mol de Al}}{27 \text{ g de Al}} \frac{2 \text{ mol de Al}_2\text{O}_3}{4 \text{ mol de Al}} \frac{102 \text{ g de Al}_2\text{O}_3}{1 \text{ mol de Al}_2\text{O}_3} = 102 \text{ g de de Al}_2\text{O}_3$$

Calculando números de partículas

En ocasiones interesa conocer el número de partículas que se forman de una determinada sustancia en una reacción química. Para ello debes utilizar un factor, que relacione las partículas (N) con la cantidad de materia (n). Como ya sabes que en un mol de cualquier sustancia hay el número de Avogadro de partículas (N_A):

$$N = n \cdot N_A$$



3.2 Reactivos limitante y en exceso

Una reacción química se produce en condiciones estequiométricas cuando las cantidades de reactivos (en moles) están en las proporciones idénticas a las de la ecuación química ajustada.

Es frecuente que se use un exceso de alguno de los reactivos para conseguir que reaccione la mayor cantidad del reactivo menos abundante.

El reactivo que se consume en su totalidad es el que va a limitar la cantidad de producto que se obtendrá y se denomina **reactivo limitante**. Los otros reactivos se llaman **en exceso** y no se consumen totalmente.

¿Cómo puedes saber cuál es el reactivo limitante? Por ejemplo, en la reacción del aluminio con el oxígeno para formar óxido de aluminio, mezclas para que reaccionen dos moles de aluminio con dos moles de oxígeno.

La ecuación ajustada es: $4 \text{ Al} + 3 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ Al}_2\text{O}_3$

y haciendo uso de la proporción estequiométrica entre el aluminio y el oxígeno:

$$\frac{4 \text{ mol de Al}}{3 \text{ mol de O}_2} = \frac{2 \text{ mol de Al}}{n}; \quad n = 1,5 \text{ mol de O}_2$$

Por tanto, únicamente reaccionan 1,5 moles de O_2 y quedan sin reaccionar 0,5 moles de oxígeno. El reactivo limitante es el aluminio, que se consume totalmente.

El reactivo limitante

Cuando en una reacción química intervengan cantidades de dos o más reactivos, antes de realizar los cálculos estequiométricos debes determinar cuál es el reactivo limitante, ya que será la referencia para todos los cálculos relacionados con la ecuación química ajustada.

3.3 Reactivos impuros

En general, en las reacciones químicas, los reactivos que se utilizan no se encuentran puros, sino que están mezclados con algunas impurezas. Para realizar cálculos estequiométricos es necesario conocer la pureza del reactivo.

Pureza de los reactivos

La pureza de un reactivo puede definirse como:

$$P = \frac{\text{masa de reactivo puro}}{\text{masa de reactivo total (con impurezas)}} \cdot 100$$

Mediante reacciones químicas se puede determinar la pureza de una muestra sabiendo la masa de sustancia pura que ha reaccionado para obtener la masa de productos que se ha obtenido.

El descubrimiento del oxígeno

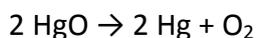
A partir de esta definición puedes calcular la cantidad de reactivo que realmente interviene en la reacción.

Joseph Priestley descubrió el oxígeno en 1772, al calentar monóxido de mercurio (HgO). El monóxido de mercurio se descompone por el calor en oxígeno y mercurio.



A partir de una muestra de monóxido de mercurio de 13,5 g y del 80% de pureza, ¿qué masa de mercurio podrías obtener?

Para resolver el ejercicio escribes la ecuación química ajustada:



La secuencia de operaciones incluirá un factor que tenga en cuenta el tanto por ciento de pureza:

$$m(\text{Hg}) = 13,5 \text{ g HgO}(\text{impuro}) \frac{80 \text{ g HgO}(\text{puro})}{100 \text{ g HgO}(\text{impuro})} \frac{1 \text{ mol HgO}}{216,6 \text{ g HgO}} \frac{2 \text{ mol Hg}}{2 \text{ mol HgO}} \frac{200,6 \text{ g Hg}}{1 \text{ mol Hg}} = 10 \text{ g Hg}$$

3.4 Rendimiento de una reacción

En general, cuando se produce una reacción química se obtienen menores cantidades de producto de las que cabría esperar teóricamente por la estequiometría de la reacción.

Los motivos son diversos, como por ejemplo:

- La reacción se produce en condiciones inadecuadas.
- Se pierde algo de la sustancia al manipularla.
- Existen reacciones alternativas o secundarias que dan lugar a productos no deseados.



Además, hay muchos casos en los que la conversión de reactivos en productos no es total por razones energéticas, independientemente de que se den las circunstancias anteriores.

Rendimiento de una reacción

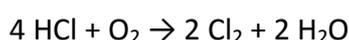
Se define el rendimiento r de una reacción química como:

$$r = \frac{\text{Cantidad de producto obtenido}}{\text{Cantidad de producto teórico}} 100$$

Ahora vas a tener en cuenta el rendimiento en una reacción concreta.

Un método usado para reducir emisiones de cloruro de hidrógeno, que fue utilizado para obtener cloro antes de los procesos electrolíticos es la oxidación directa del HCl con el oxígeno, con el empleo de un catalizador y a alta temperatura.

La ecuación química ajustada del proceso es:



Partiendo de 27 g de HCl y con suficiente oxígeno, ¿cuál es la masa de Cl₂ que obtendrás si el rendimiento de la reacción es del 36 %?

La secuencia de operaciones incluirá un factor que tenga en cuenta el rendimiento de la reacción:

$$m(\text{Cl}_2) = 27 \text{ g HCl} \frac{1 \text{ mol HCl}}{36,5 \text{ HCl}} \frac{2 \text{ mol Cl}_2}{4 \text{ mol HCl}} \frac{71 \text{ g Cl}_2}{1 \text{ mol Cl}_2} \frac{36 \text{ g Cl}_2 \text{ obtenidos}}{100 \text{ g Cl}_2 \text{ teóricos}} = 9,5 \text{ g de Cl}_2$$

3.5 Reactivos en disolución

Hay muchas reacciones químicas que se producen en disolución acuosa. En este caso, los datos o las incógnitas se expresan en forma de volúmenes de disolución. La secuencia de operaciones incluirá un factor que tenga en cuenta la relación entre el volumen de disolución y la cantidad de sustancia de soluto.

Concentración y estequiometría

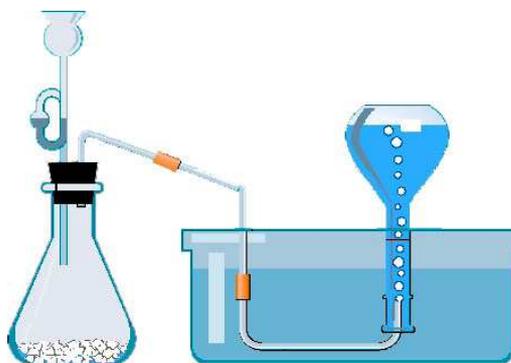
La forma de expresar la composición de una disolución permite calcular la cantidad de sustancia del compuesto disuelto, presente en un volumen de disolución determinado.

La forma habitual de expresar la composición de la disolución es la concentración ($c = n/V$). Por tanto, el factor de conversión es $n = c V$.

3.6 Reacciones con gases

Cuando intervienen gases en las reacciones químicas, los datos y los resultados suelen expresarse en volumen de gas, en unas condiciones determinadas de presión y temperatura.

Cuando en una reacción química todas las sustancias que intervienen son gases, en las mismas condiciones de presión y temperatura, los coeficientes estequiométricos también indican la relación de volúmenes entre las sustancias que reaccionan.



Según el principio de Avogadro, un mol de un gas ocupa el mismo volumen que un mol de otro gas, en las mismas condiciones de presión y temperatura, y hay el mismo número de partículas en ambos casos.

La ecuación de los gases en la estequiometría

Si las sustancias que intervienen en la reacción no son todas gaseosas, debes utilizar la ecuación de estado de los gases ($pV = nRT$) para obtener el factor que en la secuencia de operaciones relacione el volumen del gas y la cantidad de sustancia.

$$n = \frac{PV}{RT}$$

Cuando las condiciones de presión y temperatura son las normales, 273 K (0°C) y 1 atm, puedes tener en cuenta que un mol de cualquier gas ocupa 22,4 L.

4. Química industrial

En los medios de comunicación, habitualmente aparecen noticias relacionadas con el sector industrial. Se habla de la industria del automóvil, de la industria del ocio (videojuegos, cine o música), etc., pero pocas veces hacemos referencia a una de las ramas industriales más importantes: la **industria química**.



Ya has visto la química como una ciencia experimental, que estudia la estructura interna de la materia y sus transformaciones. Ahora vas a ver cómo ayuda a mejorar la calidad de vida, creando sustancias que se utilizan en gran número de actividades cotidianas.

La industria química se dedica a transformar materias primas para obtener una amplia gama de productos de uso habitual. Estos materiales se encuentran desde en laboratorios de I+D+i (Investigación, Desarrollo e innovación) hasta en nuestro hogar, que en último término es uno de los lugares más importantes de la participación de la química en la vida del ser humano, pues en él hay una gran cantidad de sustancias derivadas de la química industrial.

Objetivos de la industria química

La industria química se ocupa de dos labores fundamentales:

- 1) La **extracción y procesamiento de las materias primas**, tanto naturales como sintéticas.
- 2) La **transformación de estas materias primas en otras sustancias** con características diferentes de las que tenían originalmente.

El objetivo final de esta industria es satisfacer las necesidades de las personas mejorando su calidad de vida, elaborando un producto de buena calidad con el costo más bajo posible, y tratando de ocasionar el menor daño posible al medio ambiente.

Tipos de industria química

La industria química es muy variada y abarca gran cantidad de campos de producción. Entre ellos se puede destacar:

1. La industria **petroquímica**, que trabaja con el petróleo y sus derivados, como verás más adelante.
2. La industria **metalúrgica**, que tiene como objetivo la obtención de metales puros a partir de los materiales naturales que los contienen. La más importante es la del acero, también denominada siderúrgica, producido en los llamados "hornos altos".

3. La industria **química básica** que está especializada en la obtención de productos básicos como el ácido sulfúrico, el hidróxido sódico o el cloro. También produce abonos y pesticidas para uso agrícola.

4. La industria **agroalimentaria** es la dedicada a producir y transformar los alimentos. Actualmente es muy importante porque cada vez se utilizan más los aditivos alimentarios debido al incremento de producción de alimentos preparados a los que hay que añadir productos que aseguren su conservación.

5. La industria de **materiales de construcción**, encargada de fabricar los materiales empleados en la construcción de edificios, vías de comunicación y el resto de obras públicas. Su producto principal es el cemento (mezcla de óxido de calcio y dióxido de silicio), así como el yeso, el vidrio o los productos cerámicos.

6. La industria **farmacéutica**, dedicada a la investigación, preparación y comercialización de toda clase de medicamentos.

4.1 Impacto socioeconómico

El impacto de la química en nuestra sociedad es innegable: la calidad de vida de la que disfrutamos sería imposible sin el desarrollo de la industria química. Ya sea en la industria farmacéutica, en la metalúrgica o en la industria del petróleo, puede afirmarse que ha permitido aumentar significativamente nuestra esperanza de vida.



No solamente en estos aspectos el desarrollo de la química ha tenido un impacto social, sino que el estilo de vida ha cambiado, asociado a los nuevos desarrollos aportados en las áreas de alimentación, transporte o construcción, que han permitido universalizar estos recursos y desarrollar zonas anteriormente deprimidas gracias a los puestos de trabajo generados.

Asociado a este desarrollo industrial, en el propio ámbito académico han proliferado los estudios conducentes a la capacitación en el sector químico: desde ciclos medios y superiores de formación profesional de explotación y análisis químicos hasta ingenierías químicas e industriales, sin olvidar la propia titulación de química en las Facultades de Ciencias.

Entre las aplicaciones de la química en nuestra vida cotidiana podemos destacar:

Química y conservación de los alimentos. El ser humano ha utilizado desde siempre la sal o las especias para lograr la conservación de los alimentos. Hoy en día existe una gran variedad de productos para tal fin:

- Conservantes: empleados para impedir el crecimiento de microorganismos.
- Acidulantes: utilizados para dar o intensificar un sabor característico.
- Antioxidantes: Evitan que los alimentos se pongan rancios (oxidación).
- Colorantes: mejoran el aspecto externo de los alimentos.

Química y salud, que supone una mejora de la calidad de vida de la población:

- Desarrollo de productos farmacéuticos (medicamentos, vacunas,...), que han permitido un aumento en la esperanza de vida, así como en la calidad de la misma.
- Productos higiénicos y cosméticos, que tanto influyen en las relaciones sociales.

Química y agricultura, permitiendo mejorar la producción y calidad de las cosechas:

- Pesticidas: sirven para evitar las plagas de insectos u hongos.
- Fertilizantes: aportan al terreno los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas.
- Herbicidas: utilizados para matar las malas hierbas en los cultivos.

En el gráfico siguiente puedes observar las principales zonas en las que se establecen las industrias químicas en España, junto con la evolución de los sectores de producción relacionados.



Sin embargo, no puede obviarse que, a pesar de que el conocimiento químico tiene como objetivo último lograr el bienestar de la humanidad, también se usa para otros fines. Está a la orden del día cómo este conocimiento se utiliza para el desarrollo y aumento de la producción de drogas perjudiciales para la salud, sin olvidar los terroristas y laboratorios militares que tratan de crear armas biológicas de destrucción masiva.

4.2 Impacto medioambiental

Aun cuando la **contaminación** siempre ha existido, pues va asociada a la civilización humana, este proceso se ha incrementado con el desarrollo industrial, hasta el punto de que el equilibrio entre la misma y la capacidad de la naturaleza para recuperarse parece haberse roto.

La industria química, pese a ayudar a mejorar la calidad de vida del ser humano, también es culpable de una parte importante de la contaminación, no tanto por la química en sí, sino por el uso desequilibrado que puede hacerse de ella.

Así pues, uno de los retos fundamentales con los que se enfrenta la humanidad son los problemas medioambientales, que afectan directamente a la salud de las personas y a nuestro ecosistema. La química no sólo es responsable de ellos, sino que también se encarga de buscar las causas y posibles soluciones a estos problemas.

Para solucionar el impacto de la contaminación, la industria química sigue cuatro líneas de acción asociadas a otros tantos problemas medioambientales:

1. **Química atmosférica.** Trata temas como la reducción de la capa de ozono, el efecto invernadero o la lluvia ácida. Todos ellos están relacionados con la contaminación atmosférica, con el objetivo de descubrir nuevas técnicas que permitan evitar o al menos disminuir las emisiones de gases nocivos.

2. **Química de los residuos.** Ha tomado gran importancia con la sensibilización social respecto al reciclaje. El aumento del consumo lleva asociado la producción de un gran número de residuos contaminantes, por lo que la química investiga las posibilidades de reciclaje de los mismos y, en caso de no ser posible, la eliminación segura de los mismos.

3. **Química del agua.** El crecimiento de la población mundial y el desarrollo industrial provocan que el agua, necesaria para la vida, sea cada vez más escasa y de peor calidad. En este sentido, se estudia la mejora en los procesos de potabilización y, sobre todo, en la depuración de aguas residuales que mejoren el estado de nuestros ríos y mares.

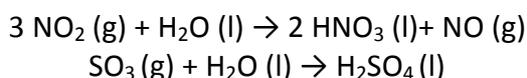
4. **Química del suelo.** Los vertidos incontrolados de residuos y el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas, provocan la degradación de los suelos, volviéndolos no aptos para el cultivo, pues pasarían los contaminantes a la cadena alimentaria. La química busca tecnologías que permitan la recuperación rápida del suelo.

La lluvia ácida

La lluvia ácida es una consecuencia de los gases emitidos en los procesos de combustión. El agua de lluvia ya es ligeramente ácida (pH = 6,2) debido a que disuelve parte del CO₂ atmosférico en su caída, dando lugar a ácido carbónico.



Ahora bien, cuando el aire contiene altas concentraciones de óxidos de nitrógeno (NO_x) u óxidos de azufre, estos se combinan fácilmente con las gotas de lluvia, dando lugar a ácidos como el nítrico o el sulfúrico. Algunas reacciones que ocurren, entre otras, son las siguientes:



Tanto el ácido nítrico como el sulfúrico son ácidos fuertes, que en disolución dan lugar a disoluciones muy ácidas.

Los óxidos de nitrógeno se forman en las cámaras de combustión de los motores térmicos de vehículos y aviones, donde debido a las altas temperaturas que se alcanzan el nitrógeno y el oxígeno se combinan.

Los óxidos de azufre proceden principalmente de las erupciones volcánicas, pero también de la industria metalúrgica, sobre todo a partir del carbón y el petróleo sin refinar.

La lluvia ácida quema literalmente la vegetación de los bosques y acidifica ríos, lagos y acuíferos, dañando los ecosistemas de muchas especies. También es responsable del deterioro de edificios y

esculturas de mármol o caliza ya que disuelve su principal componente, el carbonato de calcio (CaCO_3).

La química actualmente busca soluciones para intentar resolver este problema, principalmente mejorando los métodos de combustión de combustibles fósiles y fomentando el uso de catalizadores que reduzcan este tipo de emisiones.

4.3 Productos químicos de importancia industrial

Ácido sulfúrico (H_2SO_4)

Es un ácido líquido, muy corrosivo, que reacciona violentamente con agua y con los compuestos del carbono desprendiendo mucho calor en el proceso.

Se trata del compuesto químico más producido en el mundo, por lo que su consumo suele utilizarse como indicador de la capacidad industrial de un país. Gran parte de su producción se emplea en la obtención de fertilizantes, aunque también es fundamental en la síntesis de otros ácidos y en la industria petroquímica.

Existen distintos procesos de producción del ácido sulfúrico, siendo el más común el de **contacto**, en el cual se emplea un catalizador para convertir el SO_2 en SO_3 , del que se obtiene ácido sulfúrico por hidratación, en una instalación como la que se muestra en la imagen:

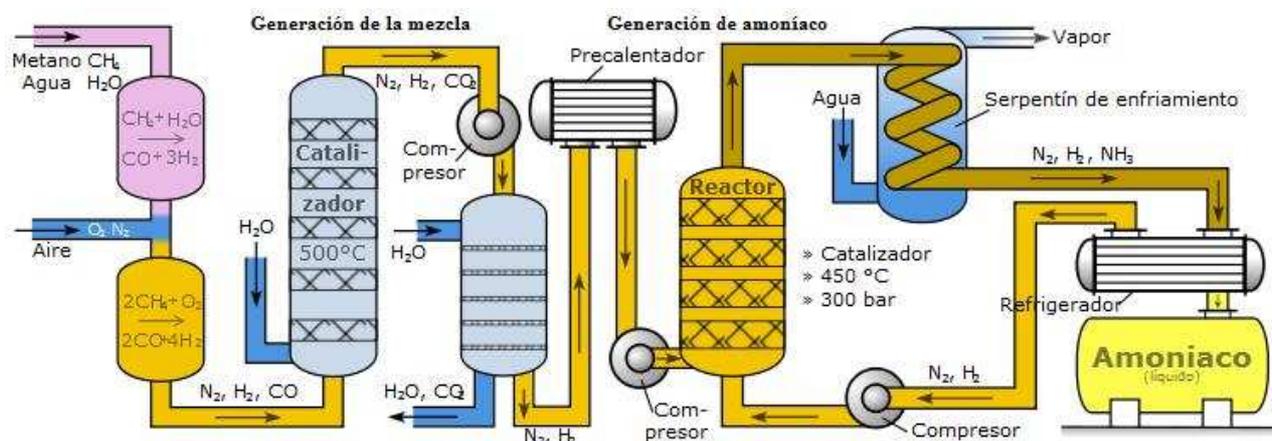


Amoniaco (NH_3)

Es un gas incoloro de olor muy desagradable y penetrante; fácilmente soluble en agua pero muy volátil, en usos no industriales suele venderse disuelto en agua. Se produce a partir de la descomposición de la materia orgánica, pero también industrialmente.

Más del 75% del amoníaco producido en las plantas químicas se usa para fabricar abonos o para su aplicación directa como abono. El resto se utiliza en textiles, plásticos, explosivos, en la industria papelera y en productos de limpieza domésticos.

El amoníaco se obtiene mediante el proceso Haber-Bosch, consistente en la reacción directa entre el nitrógeno y el hidrógeno gaseosos. Esta es una reacción muy lenta (al tener una elevada energía de activación) por lo que se utiliza un catalizador (óxido de hierro). Aunque el grado de reacción se ve favorecido a bajas temperaturas, esta síntesis se realiza a altas temperaturas para favorecer la energía cinética de las moléculas y aumentar así la velocidad de reacción. A continuación se muestra el diagrama del proceso Haber-Bosch:



Ácido clorhídrico (HCl)

Recibe este nombre cuando se encuentra disuelto en agua, siendo también conocido como sulfumán. Puro se conoce como cloruro de hidrógeno, y a temperatura ambiente es un gas con una leve tonalidad amarillenta, más denso que el aire, corrosivo, no inflamable y de olor irritante. Al exponerse a la atmósfera forma un denso vapor blanco, también corrosivo. Aparece de forma natural entre los gases emitidos por volcanes.



Entre sus aplicaciones, hay que destacar su uso industrial para limpiar, tratar y galvanizar metales, curtir cueros, y en la refinación y manufactura de una amplia variedad de productos.

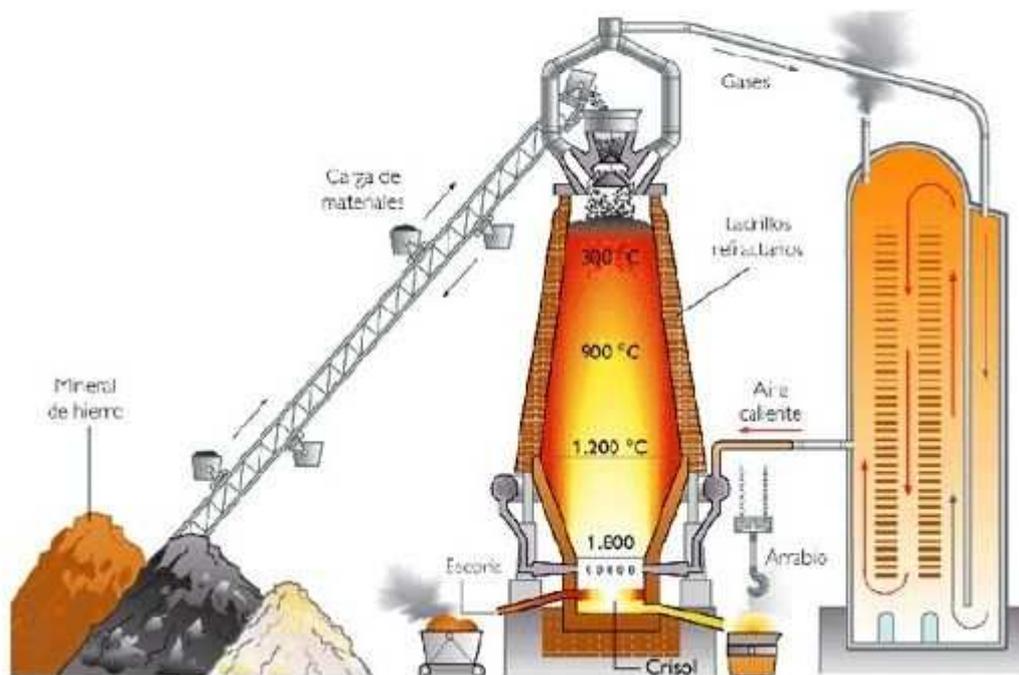
Puede obtenerse por adición de ácido sulfúrico a la sal común (NaCl), pero industrialmente se produce a partir de reacciones orgánicas de cloración de compuestos del carbono con cloro elemental. Otro método de producción a gran escala es por electrólisis de disoluciones de sal común, produciendo cloro, hidróxido de sodio e hidrógeno. El gas cloro así obtenido puede ser combinado con el gas hidrógeno, formando gas HCl químicamente puro.

Metalurgia del hierro y del acero: los hornos altos

La obtención de hierro a partir de óxidos de hierro por reducción con carbón ha sido la base del desarrollo de muchas sociedades en el siglo XX. En España la siderurgia estuvo muy desarrollada, con grandes fábricas en Bilbao o Sagunto. Hoy en día se obtiene hierro para alearlo con carbón y otros metales, obteniendo acero, de mayor resistencia mecánica y que es inoxidable.

Fíjate en la imagen en la que se representa el proceso. Se carga el horno por la parte superior con mineral de hierro, caliza (fundente) y coque (carbón) que caen pulverizados por el horno y entran en contacto con el CO formado a alta temperatura, dando lugar a hierro fundido (arrabio) y escorias que se recogen por separado.

HORNO ALTO

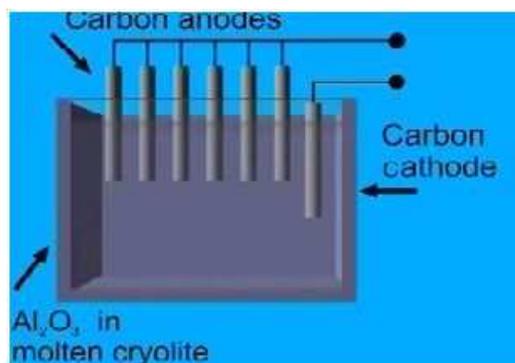


El proceso metalúrgico global es: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{CO} \rightarrow 2 \text{Fe} + 3 \text{CO}_2$.

Proceso Bayer de electrolisis del aluminio

El método de producción no es precisamente moderno, ya que el método industrial utilizado es el proceso Bayer, que fue patentado por Karl Bayer en 1889

En el proceso Bayer, primero se tritura la bauxita y luego se lava con una solución caliente de hidróxido de sodio (sosa cáustica), NaOH. La sosa disuelve los minerales de aluminio pero no los otros componentes de la bauxita, que permanecen sólidos. La reacción química que ocurre en esta etapa es:



A continuación se retiran de la solución los sólidos no disueltos, principalmente en un decantador seguido de unos filtros para eliminar los últimos restos. Los sólidos recogidos en el decantador, llamados "lodo rojo", se tratan para recuperar la sosa que no ha reaccionado y que se recicla al proceso. La solución de $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, ya libre de impurezas, se precipita de forma controlada para formar hidróxido de aluminio puro.



La solución de sosa libre de aluminio se concentra en unos evaporadores y se recicla al comienzo del proceso.

Por último, el hidróxido se calienta a unos 1050°C, en una operación llamada "calcinación", para convertirlo en alúmina (Al_2O_3), liberando vapor de agua al mismo tiempo:



La alúmina obtenida se utiliza para producir aluminio mediante electrólisis según el proceso denominado de Hall-Heroult. Para ello se disuelve en un baño fundido de criolita (Na_3AlF_6) y se electroliza en una celda electrolítica usando electrodos de carbono, siendo la reacción producida:



Se realiza así pues la alúmina proveniente del proceso Bayer tiene un punto de fusión extremadamente alto y al mezclarlo con la criolita logra bajar el punto de fusión a alrededor de los 900 °C.

Por el elevado punto de fusión, el consumo energético que se utiliza para obtener aluminio es muy elevado y lo convierte en uno de los metales más caros de obtener, resultando mucho más rentable el reciclado del mismo.

4.4 Manipulación de productos químicos

El uso y manipulación de sustancias químicas es un proceso no exento de riesgos; muchos productos químicos son agresivos para el ser humano y el medio en que vive, lo que obliga a extremar las precauciones y a exigir fuertes controles y una gran responsabilidad a quienes fabrican y manipulan esas sustancias.

En el ámbito industrial existen gran número de productos potencialmente peligrosos, e incluso en nuestra vida cotidiana podemos encontrarlos, tales como limpiadores del hogar, detergentes, pilas o pinturas.

Debido a su toxicidad es preciso seguir una serie de precauciones tanto en el almacenamiento, uso y posterior reciclaje.

1) Almacenamiento

A la hora de almacenar productos químicos es necesario:

- Mantener actualizada una lista de los productos que se almacenan, incluyendo nombre y fecha de compra de cada producto.
- Conservar los productos en su envase original y asegurarse de están bien etiquetados, comprobando su posible deterioro.
- Mantenerlos en lugar fresco y seco.
- Guardarlos fuera del alcance de los niños y animales domésticos.
- Mantener separados los productos químicos que sean incompatibles.

2) Uso y manipulación

Cuando un producto contiene sustancias químicas peligrosas, es obligatorio que en su etiquetado señale tanto los posibles **riesgos asociados** a su uso como las instrucciones para su correcta manipulación. Por ello es fundamental leer y seguir al pie de la letra las instrucciones del fabricante.

Entre otras reglas generales, pueden destacarse las siguientes:

- No mezclar productos químicos diferentes.
- Usar los productos en la proporción y dosis recomendada.
- Utilizar, siempre que se pueda, productos alternativos naturales menos tóxicos.
- Protegerse de posibles salpicaduras usando guantes, gafas y ropa adecuada.
- Mantener bien ventiladas las zonas donde se usen los productos.
- Lavarse bien cara y manos después de su uso.



En caso de intoxicación, se seguirán las instrucciones del etiquetado, llamando al Instituto Nacional de Toxicología con la referencia del producto si es necesario.

3) Residuos y reciclado

Como regla general, se intenta siempre generar la menor cantidad de residuos posible, aunque es inevitable que estos aparezcan. En consecuencia, se debe ser muy cuidadoso a la hora de proceder a su eliminación. Para ello las industrias tienen **planes de gestión de residuos**, mientras que los usuarios particulares pueden acudir a los puntos limpios. En cualquier caso, lo más aconsejable es no verter ningún residuo directamente al agua o a la basura.

Con ello no sólo se evitan afecciones medioambientales, sino que se favorece su reciclado evitando el gasto innecesario de recursos. No todos los residuos pueden ser reciclados, pero la mayor parte de ellos sí; por ejemplo las latas de aluminio o los plásticos de las botellas de agua y botes de detergente son 100% reciclables.



Destacar por último que hay unos compuestos químicos con los que se debe tener especial cuidado: los **medicamentos**. Los envases vacíos o con restos de medicación, los medicamentos que no se necesiten y los caducados deben depositarse junto con sus prospectos en las farmacias (puntos SIGRE).

Tabla Periódica de los Elementos

1 1 IA New Original 1 H Hidrógeno 1.00784	2 2 IIA Be Berilio 9.012182	3 3 IIIB Li Litio 6.941	4 4 IVB Na Sodio 22.989770	5 5 VB Mg Magnesio 24.3050	6 6 VIB Ca Calcio 40.078	7 7 VIIB K Potasio 39.0983	8 8 VIIB Sc Escandio 44.955910	9 9 VIIB Ti Titanio 47.887	10 10 VIIB V Vanadio 50.9415	11 11 VIIB Cr Cromo 51.9961	12 12 VIIB Mn Manganeso 54.938049	13 13 VIIB Fe Hierro 55.8457	14 14 VIIB Co Cobalto 58.933200	15 15 VIIB Ni Níquel 58.6934	16 16 VIIB Cu Cobre 63.546	17 17 VIIB Zn Zinc 65.409	18 18 VIIIA Ga Galio 69.723	19 19 VIIIA Ge Germanio 72.64	20 20 VIIIA As Arsénico 74.92150	21 21 VIIIA Se Selenio 78.96	22 22 VIIIA Br Bromo 79.904	23 23 VIIIA Kr Kriptón 83.798	24 24 VIIIA Rb Rubidio 85.4678	25 25 VIIIA Sr Estroncio 87.62	26 26 VIIIA Y Itrio 88.90585	27 27 VIIIA Zr Zirconio 91.224	28 28 VIIIA Nb Niobio 92.90638	29 29 VIIIA Mo Molibdeno 95.94	30 30 VIIIA Tc Tecnecio (98)	31 31 VIIIA Ru Rutenio 101.07	32 32 VIIIA Rh Rodio 102.90550	33 33 VIIIA Pd Paladio 106.42	34 34 VIIIA Ag Plata 107.8682	35 35 VIIIA Cd Cadmio 112.411	36 36 VIIIA In Indio 114.818	37 37 VIIIA Sn Estañó 118.710	38 38 VIIIA Sb Antimonio 121.760	39 39 VIIIA Te Teluro 127.60	40 40 VIIIA I Yodo 126.90447	41 41 VIIIA Xe Xenón 131.293	42 42 VIIIA Cs Cesio 132.90545	43 43 VIIIA Ba Bario 137.327	44 44 VIIIA La Lantano 138.9055	45 45 VIIIA Pr Praseodimio 140.90765	46 46 VIIIA Ce Cerio 140.116	47 47 VIIIA Th Torio 232.0381	48 48 VIIIA Pa Protactinio 231.03688	49 49 VIIIA U Uranio 238.02891	50 50 VIIIA Np Neptunio (237)	51 51 VIIIA Pu Plutonio (244)	52 52 VIIIA Am Americio (243)	53 53 VIIIA Cm Curio (247)	54 54 VIIIA Bk Berkelio (247)	55 55 VIIIA Cf Californio (251)	56 56 VIIIA Es Einsteinio (252)	57 57 VIIIA Fm Fermio (257)	58 58 VIIIA Md Mendelevio (288)	59 59 VIIIA No Nobelio (289)	60 60 VIIIA Lr Lawrencio (262)
--	--	--	---	---	---	---	---	---	---	--	--	---	--	---	---	--	--	--	---	---	--	--	---	---	---	---	---	---	---	--	---	--	--	--	---	--	---	---	---	---	---	---	--	---	---	--	---	---	--	--	--	---	--	--	--	--	--	---	---

C Solid
Br Liquid
H Gas
Tc Synthetic

Alcalinos
Alcalinotérreos
Metales de transición
Lantánidos

Actínidos
Metales del bloque p
No metales
Gases nobles

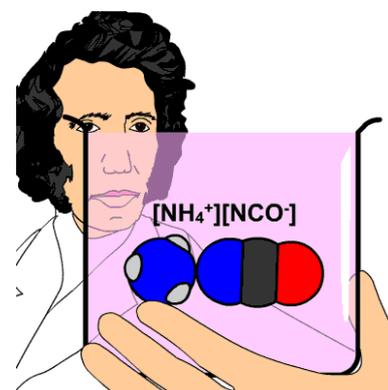
Atomic masses in parentheses are those of the most stable or common isotope.

57 57 VIIIA La Lantano 138.9055	58 58 VIIIA Ce Cerio 140.116	59 59 VIIIA Pr Praseodimio 140.90765	60 60 VIIIA Nd Neodimio 144.24	61 61 VIIIA Pm Prometio (145)	62 62 VIIIA Sm Samario 150.36	63 63 VIIIA Eu Europio 151.964	64 64 VIIIA Gd Gadolinio 157.25	65 65 VIIIA Tb Terbio 158.92534	66 66 VIIIA Dy Dysprosio 162.500	67 67 VIIIA Ho Holmio 164.93032	68 68 VIIIA Er Erbio 167.259	69 69 VIIIA Tm Terbio 168.93421	70 70 VIIIA Yb Ytterbio 173.04	71 71 VIIIA Lu Lutecio 174.967	72 72 VIIIA Hf Hafnio 178.49	73 73 VIIIA Ta Tantalio 180.9479	74 74 VIIIA W Wolframio 183.84	75 75 VIIIA Re Renio 186.207	76 76 VIIIA Os Osmio 190.23	77 77 VIIIA Ir Iridio 192.217	78 78 VIIIA Pt Platino 195.078	79 79 VIIIA Au Oro 196.96655	80 80 VIIIA Hg Mercurio 200.59	81 81 VIIIA Tl Talio 204.3833	82 82 VIIIA Pb Plomo 207.2	83 83 VIIIA Bi Bismuto 208.98038	84 84 VIIIA Po Polonio (209)	85 85 VIIIA At Astatino (210)	86 86 VIIIA Rn Radón (222)	87 87 VIIIA Fr Francio (223)	88 88 VIIIA Ra Radio (226)	89 89 VIIIA Ac Actinio (227)	90 90 VIIIA Th Torio 232.0381	91 91 VIIIA Pa Protactinio 231.03688	92 92 VIIIA U Uranio 238.02891	93 93 VIIIA Np Neptunio (237)	94 94 VIIIA Pu Plutonio (244)	95 95 VIIIA Am Americio (243)	96 96 VIIIA Cm Curio (247)	97 97 VIIIA Bk Berkelio (247)	98 98 VIIIA Cf Californio (251)	99 99 VIIIA Es Einsteinio (252)	100 100 VIIIA Fm Fermio (257)	101 101 VIIIA Md Mendelevio (288)	102 102 VIIIA No Nobelio (289)	103 103 VIIIA Lr Lawrencio (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.

Tema 3. Química del carbono

Aunque el nombre más adecuado es el de **química de los compuestos del carbono**, todavía se le sigue llamando **química orgánica**, porque desde hace siglos se pensaba que esos compuestos solamente existían y se podían producir en la materia viva. Es cierto que son sus principales constituyentes, pero cuando Whöler sintetizó la urea de forma accidental en 1828 a partir de compuestos inorgánicos, hubo que desechar ese principio "orgánico".



Todos tienen en común la existencia de cadenas de átomos de carbono y la presencia de unos pocos elementos más, básicamente hidrógeno, oxígeno y nitrógeno.

Forman moléculas desde muy pequeñas (CH_4 , metano, es la menor) hasta macromoléculas con masas molares de cientos de miles. Y su importancia y campos de aplicación carecen de límite conocido: no tienes más que pensar en los productos farmacéuticos, en los plásticos o en la secuenciación del ADN para ser consciente de ello.

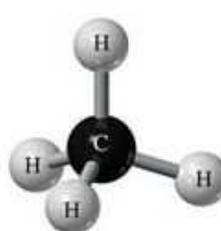
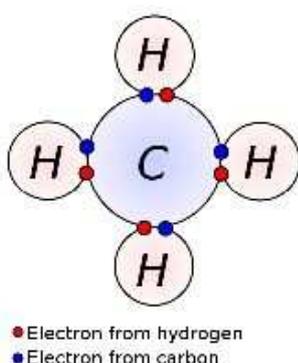
En este tema vas a recordar algunos aspectos ya vistos en ESO, como los nombres y fórmulas de los compuestos del carbono, pero te centrarás en estudiar su obtención, propiedades y reactividad, además de en las reacciones de polimerización, en la industria petroquímica y en las aplicaciones de la química del carbono.

1. Enlaces 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 para alcanzar la estructura muy estable de gas noble (regla del octete).

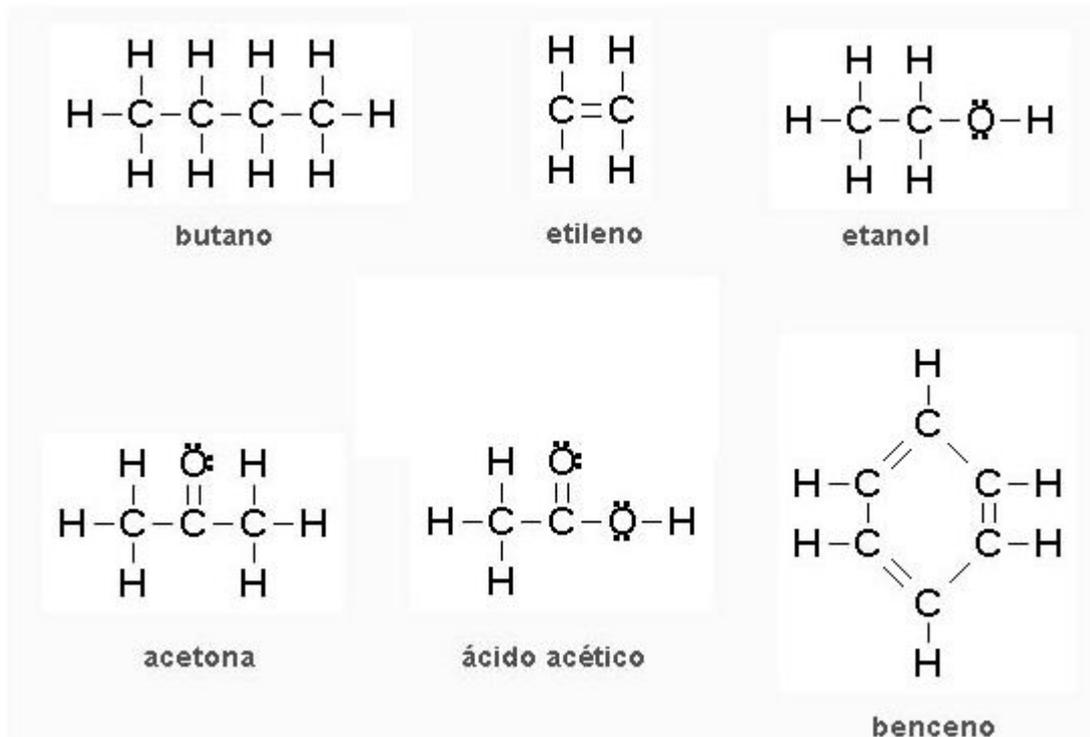
La forma de hacerlo es compartir cuatro electrones con otros átomos, de manera que la molécula más sencilla que forma es el CH_4 , metano. En las imágenes siguientes puedes ver la forma de compartir electrones y tres modelos moleculares diferentes.



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 **cadena carbonadas**, que pueden llegar a tener miles de átomos de carbono.

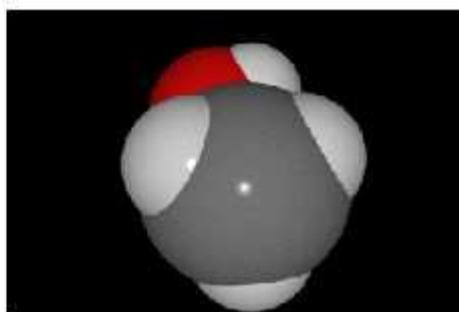
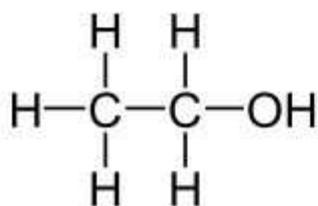
Estructuras electrónicas de Lewis

En la imagen puedes ver las estructuras electrónicas de Lewis de varios compuestos del carbono. Sigue el método que ya conoces para obtenerlas: repartir en pares el número total de electrones que tienen todos los átomos de la molécula, de forma que se cumpla la regla del octete.



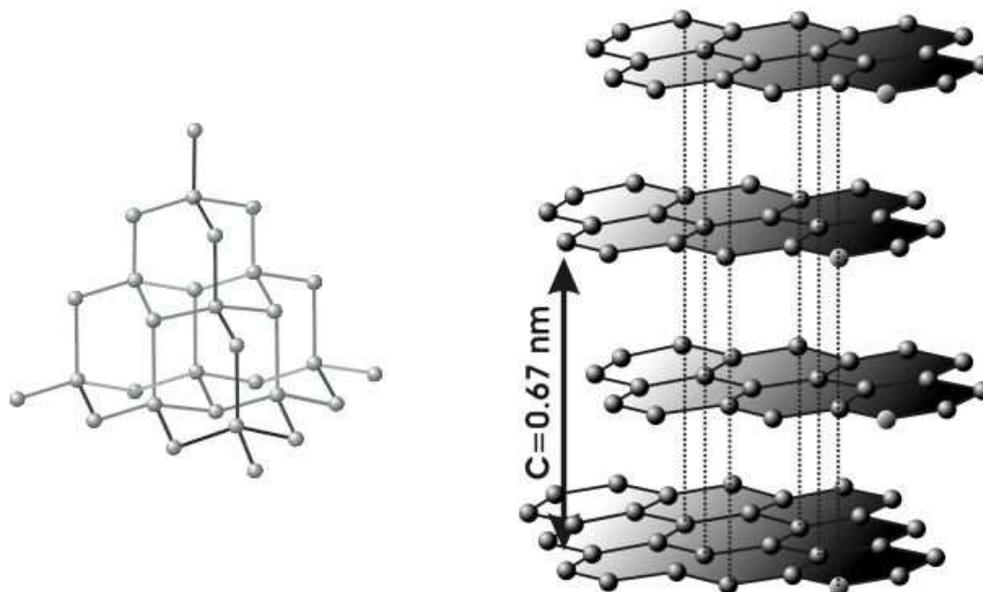
Las fórmulas de los compuestos del carbono

El etanol, o alcohol etílico, es la sustancia presente en las bebidas alcohólicas. Su **fórmula molecular** es $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$. 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 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$, 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.



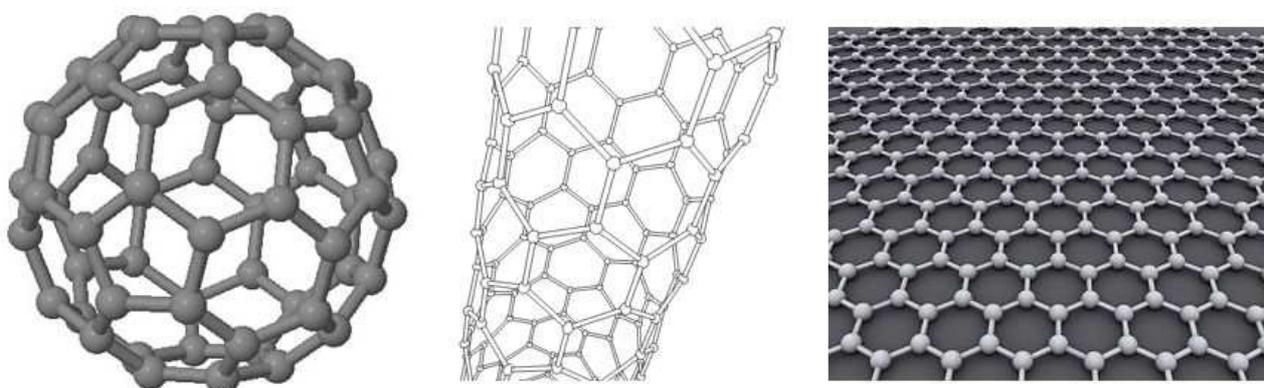
Formas alotrópicas del carbono

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 futboles, 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.

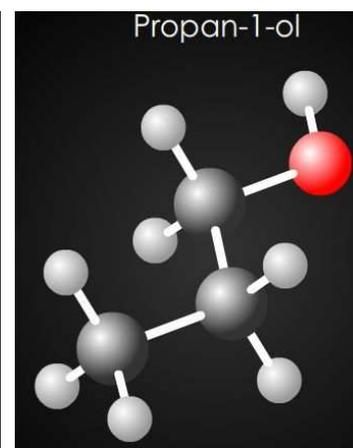
1.1 Enlaces del carbono y geometría molecular

Enlaces del carbono y geometría molecular

Si el carbono está unido a cuatro grupos diferentes, y todos los enlaces son sencillos, las cadenas carbonadas tienen estructura tetraédrica, con ángulos de $109,5^\circ$, y **los átomos de carbono van formando un zigzag** con ese ángulo (en forma de dientes de sierra).

Si hay algún enlace doble, la estructura es plana con los dos átomos unidos y los grupos que se unen a cada uno de ellos.

Además, el **segundo enlace es más débil que el primero** (aunque eso no se deduce de las estructuras electrónicas de Lewis, sino que es un dato experimental).



2. Formulación y nomenclatura de los compuestos del carbono

Muchos de los compuestos que englobamos en la química del carbono son conocidos desde antiguo: los egipcios extraían de las plantas colorantes (púrpura), fabricaban jabones y obtenían alcohol por fermentación de azúcares.

Hasta el año 1828, en que Friedrich Wöhler sintetizó la urea, se creía que para producir un compuesto de la química del carbono era necesaria la acción de una "fuerza vital". Hoy se conocen muchos millones de compuestos diferentes y se sintetizan incluso millones más cada año. La necesidad de sistematizar su nomenclatura y formulación es evidente.

Enlaces del carbono

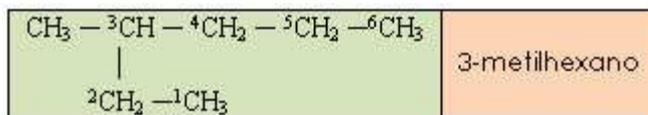
En los compuestos de la química del carbono, el átomo de carbono siempre forma cuatro enlaces, **sencillos** con estructura tetraédrica, **enlaces dobles** con estructura triangular plana y **enlaces triples** con estructura lineal.

La unión de los átomos de carbono entre sí por alguno de los enlaces citados origina **cadena carbonadas**, que forman el esqueleto de la molécula orgánica, y pueden ser **abiertas**, **cerradas** o **ramificadas**.

Cadenas ramificadas

Cuando aparecen ramificaciones (cadenas laterales) hay que seguir una serie de normas para su correcta nomenclatura.

- **Se elige la cadena más larga.** Si hay dos o más cadenas con igual número de carbonos se escoge la que tenga mayor número de ramificaciones.

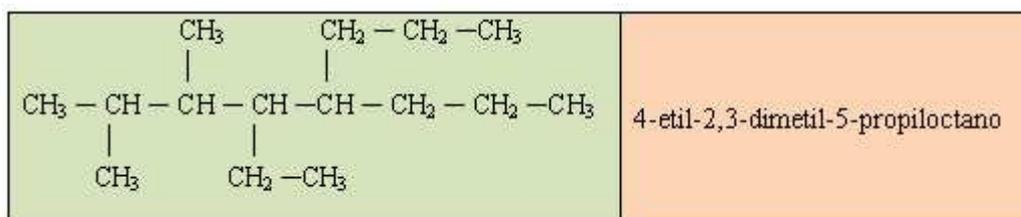


- **Se numeran los átomos de carbono** de la cadena principal comenzando por el extremo que tenga más cerca alguna ramificación, buscando que la posible serie de números sea siempre la menor posible.

- **Las cadenas laterales se nombran antes que la cadena principal**, precedidas de su correspondiente número localizador (unidos por un guión) y con la terminación "-il" para indicar que son radicales. Si un mismo átomo de carbono tiene dos radicales se pone el número localizador delante de cada radical y se ordenan **por orden alfabético**.

- Si un mismo radical se repite en varios carbonos, se separan los números localizadores de cada radical por comas y se antepone al radical el prefijo "**di-**", "**tri-**", "**tetra-**", etc.

- Si hay dos o más radicales diferentes en distintos carbonos, **se nombran por orden alfabético** anteponiendo su número localizador a cada radical.



Funciones químicas

Se llama función química a cada grupo de compuestos con propiedades y comportamientos químicos característicos.

Cada función se caracteriza por poseer un conjunto de uno o varios átomos, al que se denomina grupo funcional.

FUNCIÓN		GRUPO FUNCIONAL
Hidrocarburos	Alcanos (parafinas)	No tiene
	Alquenos (olefinas)	$\text{>C}=\text{C}<$
	Alquinos (acetilenos)	$-\text{C}\equiv\text{C}-$
	Aromáticos	

Funciones nitrogenadas	Aminas	$-\text{N}-$
	Amidas	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}-\text{N}- \\ \end{array}$

Funciones oxigenadas	Alcoholes	$-\text{OH}$
	Éteres	$-\text{O}-$
	Aldehídos	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}-\text{H} \end{array}$
	Cetonas	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}- \end{array}$
	Ácidos carboxílicos	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}-\text{OH} \end{array}$
	Ésteres	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}-\text{O}- \end{array}$

Compuestos polifuncionales

Se denominan así a aquellos compuestos que tienen más de una función orgánica. En estos casos, hay que precisar cuál es la función principal y cuáles las secundarias, ya que el nombre del compuesto vendrá dado por la función principal. Las demás funciones no se tienen en cuenta y se nombran como sustituyentes.

La cadena principal es la que contiene la función principal.

El orden de preferencia para determinar cuál es la función principal está fijado por la IUPAC.

Orden de preferencia según la IUPAC			
Nombre	Fórmula	Terminación	Como sustituyente
Ac. carboxílico	R-COOH	-oico	carboxi-
Éster	R-COOR'	-oato	oxicarbonil-
Amida	R-CO-NH ₂	-amida	carbamoil-
Nitrilo	R-C≡N	-nitrilo	ciano-
Aldehído	R-COH	-al	formil-
Cetona	R-CO-R'	-ona	oxo-
Alcohol	R-OH	-ol	hidroxi-
Fenol	Ar-OH	-ol	hidroxi-
Amina	R-NH ₂	-amina	amino-
Éter	R-O-R'	-oxi-	oxi-, oxa-
Doble enlace	R=R'	-eno	...enil-
Triple enlace	R≡R'	-ino	...inil-
Halógeno	R-X		fluoro-, cloro-, bromo-, iodo-
Nitroderivados	R-NO ₂		nitro-

2.1 Hidrocarburos

Alcanos

Son compuestos de C e H (de ahí el nombre de hidrocarburos) de cadena abierta, que están unidos entre sí por enlaces sencillos (C-C y C-H).

Su fórmula molecular es C_nH_{2n+2}, siendo n el número de carbonos.

Los cuatro primeros tienen un nombre sistemático que consiste en los prefijos **met-**, **et-**, **prop-**, y **but-** seguidos del sufijo **"-ano"**. Los demás se nombran mediante los prefijos numerales (**penta-**, **hexa-**, **hepta-**, ...) que indican el número de átomos de carbono.

Se llama **radical** a un grupo de átomos que se obtiene por pérdida de un átomo de H. Se nombran cambiando la terminación **-ano** por **-ilo**, o **-il** cuando forme parte de un hidrocarburo.

Fórmula	Nombre	Radical	Nombre
CH_4	Metano	CH_3-	Metil-(o)
CH_3-CH_3	Etano	CH_3-CH_2-	Etil-(o)
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	Propano	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	Propil-(o)
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	Butano	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	Butil-(o)
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3$	Pentano	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_2-$	Pentil-(o)
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_3$	Hexano	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_2-$	Hexil-(o)
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_5-\text{CH}_3$	Heptano	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_5-\text{CH}_2-$	Heptil-(o)
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_6-\text{CH}_3$	Octano	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_6-\text{CH}_2-$	Octil-(o)

Alquenos

Son hidrocarburos de cadena abierta que se caracterizan por tener uno o más dobles enlaces, $\text{C}=\text{C}$. Se nombran igual que los alcanos, pero con la terminación **-eno**. Es necesario tener en cuenta las siguientes normas:

- Se escoge como cadena principal la más larga que contenga el doble enlace; si hubiera ramificaciones se toma como cadena principal la que posea mayor número de dobles enlaces, aunque sea más corta que otras.
- Se empieza a contar por el extremo más cercano a un doble enlace, con lo que éste tiene preferencia sobre las cadenas laterales a la hora de numerar los carbonos.
- En el caso de que hubiera más de un doble enlace se emplean las terminaciones **dieno**, **trieno**, ... precedidas por los números que indican la posición de esos dobles enlaces.

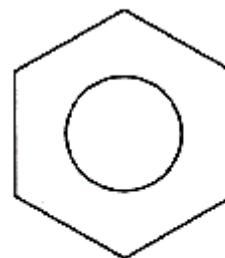
Alquinos

Son hidrocarburos de cadena abierta que se caracterizan por tener uno o más triples enlaces, $\text{C}\equiv\text{C}$. Se nombran igual que los alquenos, pero con la terminación **-ino**.

Alquenos		Alquinos	
$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	Eteno	$\text{CH}\equiv\text{CH}$	Etino
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$	Propeno	$\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$	Propino
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	1-buteno	$\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	1-butino
$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$	2-buteno	$\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$	2-butino

Hidrocarburos aromáticos

Se denominan así a los hidrocarburos que derivan del benceno (C_6H_6). Está formado por seis átomos de carbono unidos a seis hidrógenos.



Benceno
 C_6H_6

- Cuando el benceno lleva un radical, éste se nombra seguido de la palabra benceno.

- Si son dos los radicales, se indica su posición relativa dentro del anillo bencénico mediante los números 1, 2; 1, 3 o 1,4 (normalmente la designación del número 1 es por orden alfabético); aunque se sigue utilizando los prefijos **orto** (o-), **meta** (m-) y **para** (p-) para indicar esas mismas posiciones.

- En el supuesto de que hubiera más de dos sustituyentes, se busca la manera de que los números sean lo más bajos posible y los radicales se nombran por orden alfabético.

Metilbenceno (Tolueno)	<i>o</i> -dimetilbenceno	<i>m</i> -etilmetilbenceno	<i>p</i> -dietilbenceno

Derivados halogenados

Son hidrocarburos que contienen átomos de halógeno en su molécula.

Se nombran citando en primer lugar el halógeno seguido del nombre del hidrocarburo.

$CHCl_3$		
Triclorometano (Cloroformo)		
$CH_2 = CH - CCl_2 - CH_2Cl$	3,3,4-tricloro-1-buteno	<i>p</i> -diclorobenceno
3,3,4-tricloro-1-buteno	<i>p</i> -diclorobenceno	Clorobenceno

2.2 Funciones oxigenadas

Alcoholes

Se pueden considerar derivados de los hidrocarburos en los que se ha sustituido uno o más átomos de hidrógeno por grupos OH, pero solamente uno en cada carbono.

Se nombran como los hidrocarburos de los que proceden pero con la terminación **-ol**, e indicando con el número localizador más bajo posible la posición del grupo alcohólico.

- Si hay más de un grupo OH, se utiliza la terminación diol, triol, ... indicando con números los lugares donde se colocan.

- En los compuestos polifuncionales en los que el alcohol no interviene como función principal, se designa con el prefijo **hidroxi-**.

CH_3OH	Metanol	CH_3	
$\text{CH}_3 - \text{CH}_2\text{OH}$	Etanol		
$\text{CH}_3 - \text{CHOH} - \text{CH}_3$	2-propanol	$\text{CH}_3 - \text{COH} - \text{CH}_3$	2-metil-2-propanol
$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2\text{OH}$	1-propanol	$\text{CH}_2\text{OH} - \text{CHOH} - \text{CH}_2\text{OH}$	1,2,3-propanotriol (glicerina)

Éteres

Son compuestos que resultan de la unión de dos radicales alquilo o bencénicos, mediante un puente de oxígeno **-O-**.

Se nombran interponiendo el prefijo **oxi** entre los dos radicales.

También se pueden nombrar indicando el nombre de los dos radicales, por orden alfabético, seguidos de la palabra **éter**. En el caso de que los dos radicales sean idénticos, se simplifica anteponiendo el prefijo di.

$\text{CH}_3 - \text{O} - \text{CH}_3$	$\text{CH}_3 - \text{O} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{O} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$
Metoximetano Dimetileter	Etoximetano etilmetileter	Etoxietano dietileter

Aldehídos y cetonas

Los **aldehídos** se caracterizan por tener un grupo "**carbonilo**" **C=O**, en un extremo de la molécula.

Su nombre proviene del hidrocarburo, pero terminado en **-al**, y la cadena se empieza a nombrar por el extremo que lleva el grupo carbonilo.

Si el grupo carbonilo, **C=O**, se encuentra en el interior de la molécula se llaman **cetonas**.

Normalmente se nombran como derivados de un hidrocarburo, con la terminación **-ona** y un número localizador lo más bajo posible, aunque también es válido nombrar los dos radicales unidos al grupo carbonilo seguidos de la palabra cetona.

Aldehídos		Cetonas	
HCHO	Metanal	$\text{CH}_3 - \text{CO} - \text{CH}_3$	Propanona (acetona)
$\text{CH}_3 - \text{CHO}$	Etanal	$\text{CH}_3 - \text{CO} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	Butanona etilmetilcetona
$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CHO}$	Propanal	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CO} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	3-pentanona dietilcetona

Ácidos carboxílicos

Se caracterizan por tener el grupo "carboxilo" **-COOH** en el extremo de la cadena.

Se nombran anteponiendo la palabra ácido al nombre del hidrocarburo del que proceden, con la terminación **-oico**. Si hubiera dos grupos carboxilos, se indicaría con la terminación dioico.

Son frecuentes los ácidos carboxílicos que mantienen su nombre tradicional, aceptado por la IUPAC.

HCOOH	Ácido metanoico (ácido fórmico)	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{COOH}$	Ácido butanoico (ácido butírico)
$\text{CH}_3 - \text{COOH}$	Ácido etanoico (ácido acético)	$\text{HOOC} - \text{COOH}$	Ácido etanodioico (ácido oxálico)
$\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{COOH}$	Ácido 2-propenoico (ácido acrílico)	$\text{CH}_3 - \text{CHOH} - \text{COOH}$	Ácido 2-hidroxiopropanoico (ácido láctico)

Ésteres y sales de ácidos carboxílicos

Se obtienen de sustituir el hidrógeno del grupo carboxílico por una cadena hidrocarbonada, R'- o por cationes metálicos.

Se nombran partiendo del radical ácido, RCOO-, terminado en **-ato**, seguido del nombre del radical alquílico, R'- o del nombre del metal.

$\text{CH}_3 - \text{COO} - \text{CH}_3$	Etanoato de metilo (Acetato de metilo)	$\text{CH}_3 - \text{COO} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	Etanoato de etilo (Acetato de etilo)
$\text{HCOO} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	Metanoato de etilo (Formiato de etilo)	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{COO} - \text{CH}_3$	Propanoato de metilo
$\text{CH}_3 - \text{COONa}$	Etanoato de sodio (Acetato de sodio)	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{COOK}$	Propanoato de potasio

2.3 Funciones nitrogenadas

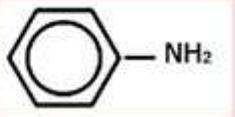
Aminas

Se pueden considerar compuestos derivados del amoniaco, NH_3 , en el que se han sustituido uno, dos o tres hidrógenos por radicales alquilo o bencénicos.

Las aminas primarias se nombran añadiendo al nombre del radical hidrocarbonado el sufijo *amina*. Aunque también es válido, si el grupo amino forma parte de una cadena más o menos compleja, indicar su situación con un número localizador lo más bajo posible.

En las aminas secundarias y terciarias, los radicales se nombran por orden alfabético, y se suele indicar con la letra **N**, que dichos radicales están unidos al átomo de nitrógeno.

Cuando las aminas primarias no forman parte de la cadena principal se nombran como sustituyentes de la cadena carbonada con su correspondiente número localizador y el prefijo **amino-**.

$\text{CH}_3 - \text{NH}_2$	Metilamina	$\text{CH}_3 - \text{NH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	N-etilmetilamina
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{N} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	N,N-dimetilpropilamina		Fenilamina (Anilina)

Amidas

Se obtienen al eliminarse una molécula de agua entre el grupo OH de un ácido y un H del amoníaco (o de una amina).

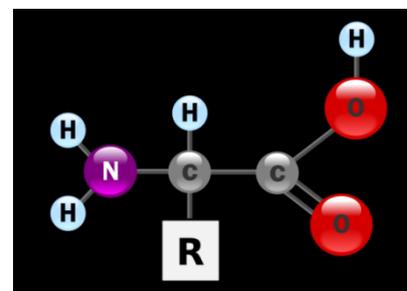
Se nombran como los ácidos, pero con la terminación **-amida**.

$\text{H} - \text{CO} - \text{NH}_2$	Metanamida (Formamida)	$\text{CH}_3 - \text{CO} - \text{NH}_2$	Etanamida (Acetamida)
$\text{CH}_3 - \text{CO} - \text{NH} - \text{CH}_3$	N-metiletanamida	$\text{NH}_2 - \text{CO} - \text{CO} - \text{NH}_2$	Etanodiamida

Aminoácidos

Un aminoácido es un compuesto polifuncional con un grupo amino ($-\text{NH}_2$) y un grupo carboxilo ($-\text{COOH}$; ácido). Los aminoácidos más frecuentes y de mayor interés son aquellos que forman parte de las proteínas.

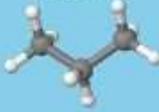
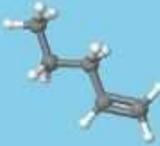
Todos los aminoácidos que forman parte de las proteínas tienen el grupo amino unido al carbono 2, contiguo al grupo carboxilo.

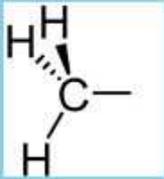
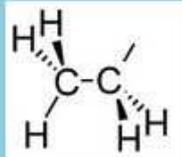
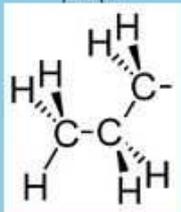
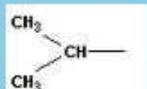
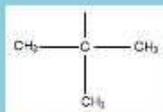
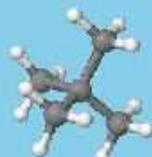
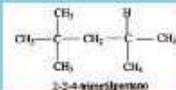
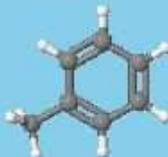


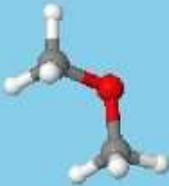
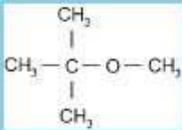
De todos los aminoácidos que se conocen, sólo 20 forman parte de las proteínas.

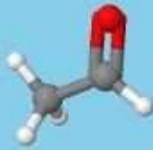
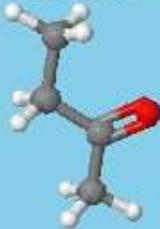
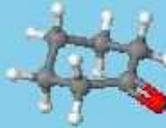
Glicina	Ácido 2-aminoetanoico	$\text{NH}_2 - \text{CH}_2 - \text{COOH}$
Alanina	Ácido 2-aminopropanoico	$\text{CH}_3 - \text{CHNH}_2 - \text{COOH}$
Ácido aspártico	Ácido 2-aminobutanodioico	$\text{HOOC} - \text{CH}_2 - \text{CHNH}_2 - \text{COOH}$
Ácido glutámico	Ácido 2-aminopentanodioico	$\text{HOOC} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CHNH}_2 - \text{COOH}$

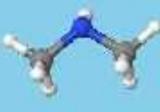
2.4 Resumen

Alcanos lineales		C_nH_{2n+2} $CH_3-(CH_2)_{n-2}-CH_3$			-ano
<p>metano</p>  <p>CH₄</p>	<p>etano</p>  <p>CH₃-CH₃</p>	<p>propano</p>  <p>CH₃-CH₂-CH₃</p>	<p>butano</p>  <p>CH₃-CH₂-CH₂-CH₃</p>	<p>pentano</p>  <p>CH₃-CH₂-CH₂-CH₂-CH₃</p>	
Alquenos		C_nH_{2n} R-CH=CH ₂			-eno
<p>eteno</p>  <p>CH₂=CH₂</p>	<p>propeno</p>  <p>CH₃-CH=CH₂</p>	<p>Z-but-2-eno</p>  <p>CH₃-CH=CH-CH₃</p>	<p>penteno</p>  <p>CH₃-CH₂-CH=CH-CH₃</p>	<p>butadieno</p>  <p>CH=CH-CH=CH₂</p>	
Alquinos		C_nH_{2n-2} R-C≡C-H			-ino
<p>etino</p>  <p>CH≡CH</p>	<p>propino</p>  <p>CH₃-C≡CH</p>	<p>1-butino</p> <p>CH₃-CH₂-C≡CH</p>	<p>3-metil-1-butino</p>  <p>CH₃-HC(CH₃)-C≡CH</p>	<p>5,5-dimetil-2-hexino</p>  <p>CH₃-C(CH₃)₂-C≡C-CH₃</p>	

Radicales alquilo		R-	-il		
metil  CH ₃ -	etil  CH ₃ -CH ₂ -	propil  CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -	isopropil  (CH ₃) ₂ -CH-	ter butil  (CH ₃) ₃ -C-	
Hidrocarburos ramificados					
metilpropano isobutano CH ₃ -CH(CH ₃)-CH ₃	dimetilpropano 	metilbutano CH ₃ -CH(CH ₃)- CH ₂ -CH ₃	dimetil butano CH ₃ -C(CH ₃) ₂ - CH ₂ -CH ₃	2-2-4-trimetil pentano (índice de octano) 	
Hidrocarburos cíclicos					
ciclopropano  C ₃ H ₆	ciclobutano C ₄ H ₈	ciclopentano  C ₅ H ₁₀	ciclohexano  C ₆ H ₁₂	ciclooctano C ₈ H ₁₆	
Hidrocarburos aromáticos					
benceno  C ₆ H ₆	metil benceno tolueno  C ₆ H ₅ -CH ₃	dimetil benceno C ₆ H ₄ -(CH ₃) ₂	naftaleno  C ₁₀ H ₈	fenantreno C ₁₄ H ₁₀	

Derivados halogenados		R-X		
clorometano  CH_3Cl	diclorometano  CH_2Cl_2	triclorometano CHCl_3	tetracloro- metano tetracloruro de carbono CCl_4	hexacloro ciclohexano  $\text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6$
Alcoholes y fenoles		R-OH		-ol
metanol  CH_3OH	etanol  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$	butanol  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-}$ $\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{OH}$	ciclohexanol  $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{OH}$	fenol  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$
Éteres		R-O-R'		-oxi radical radical éter
metoximetano dimetil éter  $\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$	metoxietano metil etil éter  $\text{CH}_3\text{-O-CH}_2\text{-CH}_3$	etoxietano dietil éter  CH_3 $\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_3$	etoxieteno $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-O}$ -CH=CH_2	Metil terbutil éter 

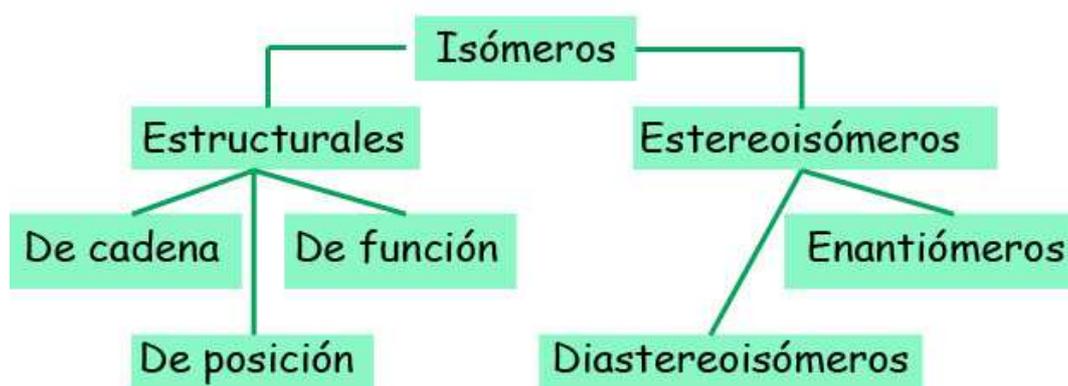
Aldehidos		$R - \overset{\text{O}}{\parallel}{C} - H$	-al	
metanal  HCHO	etanal  CH ₃ - CHO	propanal CH ₃ -CH ₂ -CHO	butanal  CH ₃ - CH ₂ -CH ₂ -CHO	benzaldehido  C ₆ H ₅ -CHO
Cetonas		$R - \overset{\text{O}}{\parallel}{C} - R'$	-ona	
propanona  CH ₃ -CO-CH ₃	butanona  CH ₃ -CH ₂ -CO-CH ₃	pentanona CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CO-CH ₃	3-pentanona CH ₃ -CH ₂ -CO-CH ₂ -CH ₃	ciclohexanona  (CH ₂) ₅ CO
Ácidos carboxílicos		$R - \overset{\text{O}}{\parallel}{C} - O - H$	-oico	
ácido metanoico H-COOH	ácido etanoico  CH ₃ -COOH	ácido propanoico CH ₃ -CH ₂ -COOH	ácido benzoico 	ácido etanodioico  HOOC-COOH

Ésteres		$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C} \\ \backslash \\ \text{O}-\text{R}' \end{array}$		
metanoato de metilo HCOOCH_3	metanoato de etilo $\text{HCOOCH}_2\text{-CH}_3$	etanoato de metilo $\text{CH}_3\text{COO-CH}_3$	etanoato de butilo 	butanoato de etilo 
Aminas		R-NH_2		-amina
metil amina  $\text{CH}_3\text{-NH}_2$	dimetil amina  $\text{CH}_3\text{-NH-CH}_3$	trimetil amina $(\text{CH}_3)_3\text{N}$	etil amina $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-NH}_2$	propil amina $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH}_2$
Amidas		$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C} \\ \backslash \\ \text{N} \\ / \quad \backslash \\ \text{R}' \quad \text{R}'' \end{array}$		
metanamida  H-CO-NH_2	etanamida $\text{CH}_3\text{-CO-NH}_2$	propanamida $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CO-NH}_2$	butanamida $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CO-NH}_2$	pentanamida $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CO-NH}_2$
Nitrilos y nitrocompuestos		$\text{R-C}\equiv\text{N}$ R-NO_2		
etanonitrilo $\text{CH}_3\text{-C}\equiv\text{N}$	propanonitrilo $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C}\equiv\text{N}$	propenonitrilo  $\text{CH}_2=\text{CH-C}\equiv\text{N}$	nitrometano  $\text{CH}_3\text{-NO}_2$	nitroetano $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-NO}_2$

3. Isomería

Se llaman **isómeros** a dos o más compuestos diferentes que tienen la **misma fórmula molecular** (el mismo número de átomos de cada tipo), pero diferente fórmula estereoquímica -distribución espacial de los átomos- y, por tanto, propiedades físicas y químicas diferentes.

Se dividen en dos grandes grupos: **estereoisómeros** e **isómeros estructurales**.



Estructurales

Los isómeros se diferencian por el orden en que están enlazados los átomos en la molécula. Se dividen en: **de cadena**, **de posición** y **de función**.

De cadena: Distinta colocación de algunos átomos en la cadena. El carbono forma cadenas sencillas o ramificadas.	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$ Butano	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ Metilpropano
De posición: Distinta posición del grupo funcional.	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2\text{OH}$ 1-propanol	$\text{CH}_3 - \text{CHOH} - \text{CH}_3$ 2-propanol
De función: Distinto grupo funcional. Ej. Alcoholes-Eteres y Aldehídos-Cetonas	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2\text{OH}$ Etanol	$\text{CH}_3 - \text{O} - \text{CH}_3$ Dimetiléter Metoximetano

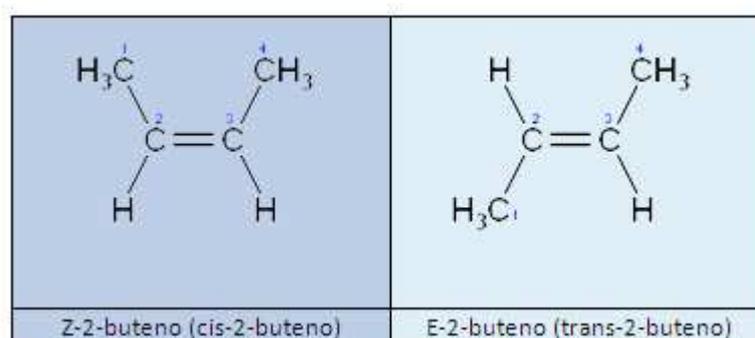
Estereoisomería

Los isómeros se diferencian por la disposición tridimensional de los átomos en la molécula. Se clasifican en **diastereoisómeros** (**isomería geométrica** o **cis-trans**) y **enantiómeros** (**isomería óptica**).

Diastereoisómeros (isomería geométrica o cis-trans)

Es propia de los **compuestos con dobles enlaces**. El isómero **cis** o **Z** es el que tiene los grupos atómicos iguales más próximos espacialmente, en el mismo lado con respecto al doble enlace; si se sitúan en lados opuestos, el isómero es **trans** o **E**.

Las dos moléculas sólo difieren en la disposición espacial de sus átomos; una no es la imagen especular de la otra.



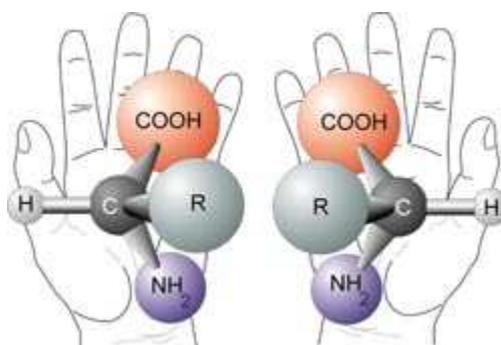
Enantiómeros (isomería óptica)

Es propia de compuestos con **carbonos asimétricos**, es decir, con los cuatro sustituyentes diferentes.

Sus moléculas guardan entre sí una relación imagen-objeto especular. Un enantiómero gira el plano de polarización de la luz hacia la izquierda (**L** o **levógiro**) y el otro hacia la derecha (**D** o **dextrógiro**).

La mezcla equimolecular se llama **mezcla racémica** y no presenta actividad óptica.

Los aminoácidos, excepto la glicina, tienen un carbono asimétrico y presentan los dos enantiómeros, aunque en la naturaleza es habitual encontrar sólo uno de ellos.



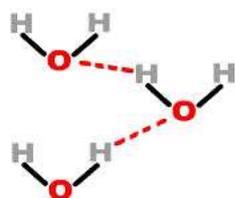
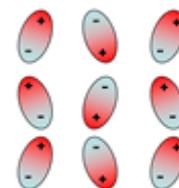
4. Propiedades de los compuestos del carbono

Los compuestos del carbono constituyen más del 90 % de las sustancias conocidas en la actualidad, y la mayor parte son sustancias moleculares de masa pequeña o intermedia. Hay sustancias macromoleculares de gran importancia bioquímica (proteínas, ADN, etc) y otras formadas por la unión de muchas moléculas sencillas (polímeros). Solamente hay unas pocas sustancias que forman estructuras gigantes, como sucede en los casos del grafito y el grafeno.

Fuerzas intermoleculares

Por esa razón, hay que considerar las propiedades de las sustancias moleculares. Para justificar las interacciones entre moléculas que dan lugar a sustancias en estados líquido o sólido, hay que tener en cuenta las fuerzas intermoleculares, que son de dos tipos:

- Fuerzas **dispersivas**, que aumentan con la masa de las moléculas, y permiten justificar la razón de que el propano sea un gas y el octano un líquido.
- Fuerzas **dipolares**, que se dan cuando en la molécula hay átomos como el oxígeno o el nitrógeno, que como son más electronegativos que el carbono producen un desplazamiento de los pares de electrones de enlace hacia ellos, y que las moléculas sean polares, es decir, aun siendo neutras tengan una cierta separación de cargas que las hacen interactuar entre ellas y orientarse.

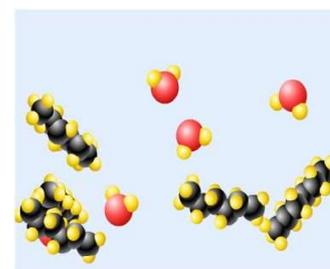


Un tipo particularmente importante de fuerza dipolar es el **punte de hidrógeno**, que se da en las sustancias con grupos O-H o N-H, y permite explicar la razón de que los azúcares, que tienen varios grupos -OH, sean sólidos a temperatura ambiente, y que el agua sea líquida.

En el simulador siguiente puedes ver cómo se forman puentes de hidrógeno entre moléculas de agua y entre moléculas de aminoácidos.

Solubilidad de los compuestos del carbono

Para que una sustancia se disuelva es necesario que las moléculas que la constituyen interactúen con el agua. Para eso es necesario que sean polares o que formen puentes de hidrógeno con las moléculas de agua. Así se puede justificar que el azúcar se disuelva en agua pero el hexano (no polar) no lo haga y sea inmiscible, como sucede con el aceite.



4.1 Reactividad

La reactividad de los compuestos de carbono radica en el grupo funcional, ya que la cadena carbonada con enlaces muy fuertes entre C-C y C-H es muy difícil de romper: las parafinas o hidrocarburos saturados, con enlaces sencillos, son poco reactivas, mientras que las olefinas, con enlaces dobles, son mucho más reactivas.

Las reacciones más importantes de los compuestos del carbono son:

Adición

Son reacciones en las que se rompe el segundo enlace de un doble enlace, más débil que el primero, entrando dos grupos en los átomos que estaban unidos por el doble enlace. Según cuál sea el grupo añadido se forman diferentes sustancias: si se añade H₂, se obtienen hidrocarburos saturados; si es H₂O, alcoholes; si es HCl, derivados clorados; etc.

Eliminación

Son reacciones contrarias a las de adición, en las que se forman compuestos con dobles enlaces por eliminación de moléculas pequeñas (H₂, H₂O, HCl, etc): por eliminación a partir del CH₂Cl-CH₂-CH₃ se obtiene CH₂=CH-CH₃ y HCl.

Sustitución

En estas reacciones, un átomo o grupo de átomos del compuesto del carbono es sustituido por otro, suministrado por el reactivo. Por ejemplo, CH₃-CH₂OH + HCl → CH₃-CH₂Cl + H₂O, en la que el -Cl sustituye a un grupo -OH. También son frecuentes las nitraciones, por ejemplo entrando el grupo -NO₂ en sustitución de un H en el benceno.

Oxidación y reducción

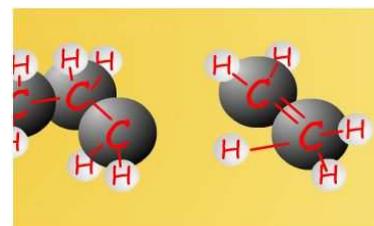
Los alcoholes se oxidan a aldehidos y cetonas, y estos a ácidos, mientras que la reducción sigue la secuencia contraria.

Combustión

Los procesos de combustión son también procesos de oxidación, pero con ruptura total de la cadena carbonada, al formarse CO₂. Como ya sabes, los compuestos del carbono reaccionan con oxígeno, desprendiendo una gran cantidad de energía en forma de calor. Son los combustibles más utilizados (gas natural, propano, butano, gasolina, gasoil), pero no los únicos, ya que en algunos países como Brasil se dedican grandes cantidades de alcoholes a combustibles de automoción.

Craqueo

Consiste en la rotura de cadenas de hidrocarburos en moléculas más sencillas. Es un procedimiento industrial muy utilizado para obtener gasolinas, y también alquenos de pocos átomos de carbono, que son materia prima para la obtención de plásticos, como puedes ver en la simulación.



Polimerización

Es un tipo de reacción en el que se forman moléculas muy grandes a partir de la unión de moléculas pequeñas, en la mayoría de los casos todas iguales entre sí. Al tratar más adelante los polímeros verás cómo se producen y las sustancias a que dan lugar.

4.2 Hidrocarburos

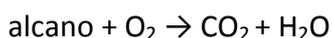
Como se ha indicado, el petróleo está formado principalmente por hidrocarburos, que pueden ser de dos tipos: hidrocarburos saturados e hidrocarburos insaturados.

Hidrocarburos saturados

También denominados alcanos, son aquellos cuyos enlaces están completamente ocupados por átomos de hidrógeno. Los alcanos son poco reactivos debido a su escasa polaridad y a la estabilidad de sus moléculas.

Combustión de los alcanos

Los alcanos presentan reacciones de combustión, en las que se combinan con oxígeno para dar lugar a dióxido de carbono y agua:



La característica fundamental de las reacciones de combustión es que liberan gran cantidad de energía en forma de calor, esto es, son altamente exotérmicas, por lo que históricamente han sido utilizados como combustible. Ejemplos de ello son el metano, el propano o el butano.

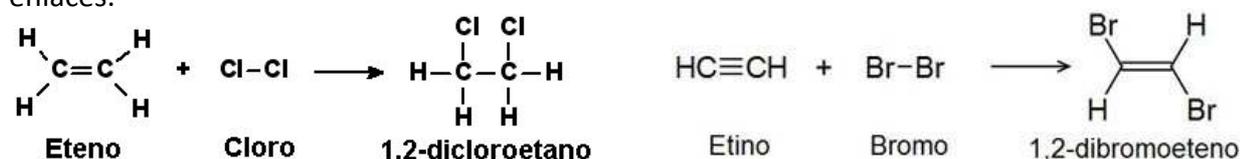
Hidrocarburos insaturados

Son aquellos que presentan dobles (alquenos u olefinas) o triples enlaces (alquinos). Son mucho más reactivos que los alcanos ya que las insaturaciones (enlaces múltiples) provocan que la cadena sea más inestable. Presentan reacciones de **combustión** al igual que los alcanos, pero reaccionan fácilmente con el hidrógeno o con los halógenos, en reacciones de **adición**, o con ellos mismos en reacciones de **polimerización**.

Reacciones de los alquenos y los alquinos

Los alquenos y alquinos reaccionan fácilmente, y, además de combustión, experimentan reacciones de adición al doble o triple enlace.

En estas reacciones el hidrógeno (H₂), un halógeno (X₂) o un hidrácido (HX) se unen al hidrocarburo insaturado en el enlace múltiple, formando un único producto con dos nuevos enlaces.



Los alquinos normalmente reaccionan en dos etapas, la primera para dar lugar a un alqueno y la segunda al producirse otra adición en este para dar lugar a un alcano.

4.3 Alcoholes

Un alcohol es un compuesto que contiene uno o más grupos hidroxilo -OH enlazados a un radical carbonado -R. Se clasifican según el número de grupos hidroxilo (monohidroxílicos, dihidroxílicos, etc) y los monohidroxílicos alifáticos según el número de átomos de carbono unidos al que lleva el grupo -OH (primario, secundario, etc).

CH ₃ OH	Metanol	CH ₃	
CH ₃ - CH ₂ OH	Etanol		
CH ₃ - CHOH - CH ₃	2-propanol	CH ₃ - COH - CH ₃	2-metil-2-propanol
CH ₃ - CH ₂ -CH ₂ OH	1-propanol	CH ₂ OH - CHOH - CH ₂ OH	1,2,3-propanotriol (glicerina)

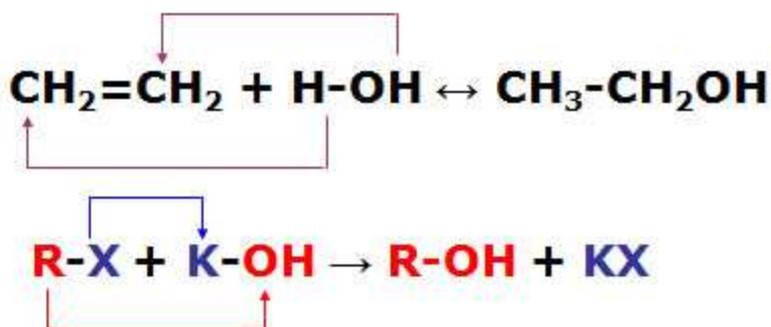
Obtención

Antiguamente los alcoholes se obtenían únicamente a partir de reacciones de fermentación de azúcares por microorganismos. En la actualidad, los cuatro primeros de la serie (de metanol a butanol) se preparan industrialmente por oxidación del gas natural.

En el laboratorio se pueden obtener alcoholes por:

- hidratación de alquenos.
- sustitución en halogenuros de alquilo.
- reducción de aldehidos o cetonas.
- hidrólisis de ésteres.

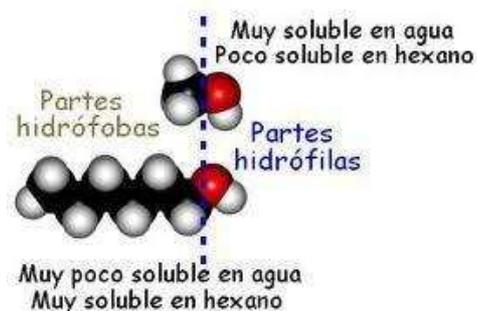
En la imagen puedes ver en primer lugar la síntesis de etanol a partir de etileno y agua (hidratación de alquenos), y después la síntesis de alcoholes por sustitución del halógeno por el grupo OH.



Propiedades generales de los alcoholes

Los alcoholes son sustancias moleculares polares que forman entre sus moléculas puentes de hidrógeno, debidos a la presencia del grupo OH. Por tanto, tienen puntos de fusión y ebullición superiores a los hidrocarburos de igual número de átomos de carbono. El punto de ebullición también aumenta al aumentar la masa molar y disminuye al ramificarse la cadena.

Son muy solubles en agua, pero a medida que aumenta el número de átomos de carbono en la molécula, disminuye su solubilidad en agua, pues en la molécula pierde importancia el papel del grupo OH frente al resto de la molécula, como puedes ver en la imagen.



Importancia de los alcoholes

En la actualidad, la producción industrial de alcoholes es muy importante ya que son productos básicos de la industria química orgánica. Los más importantes son el metanol, el 2-propanol, el etanol y los butanoles. Otros alcoholes de ocho a dieciocho átomos de carbono son fundamentales en la industria de los detergentes.

El metanol se denomina también alcohol de madera porque se puede obtener por calefacción de la misma en ausencia de aire. Es un líquido incoloro, inflamable y muy tóxico incluso por inhalación (en pequeñas cantidades produce ceguera y la ingestión de algunos gramos puede producir la muerte). Algunas bebidas alcohólicas adulteradas con metanol han causado intoxicaciones masivas. Se utiliza principalmente para obtener formol, plásticos, colorantes, perfumes, alcohol desnaturalizado etc, y como producto intermedio para síntesis, como disolvente de pinturas, barnices, lacas y como componente del líquido limpiaparabrisas.

El 2-propanol (isopropanol) es un buen disolvente industrial por su volatilidad intermedia que facilita su manejo, por su gran poder disolvente (es menos polar que el etanol) y por su suave y agradable olor. Se utiliza también para obtener otros disolventes y compuestos intermedios en síntesis orgánicas y en la industria de perfumería.

4.4 Ácidos orgánicos

Los ácidos carboxílicos son compuestos orgánicos que contienen uno o más grupos carboxilo (-COOH, formado por el grupo carbonilo -C=O y el grupo hidroxilo -OH).

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)

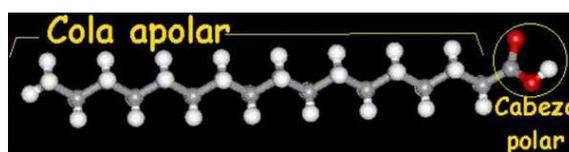
Propiedades físicas de los ácidos carboxílicos

Tienen olor penetrante y sabor desagradable. El ácido etanoico (acético) que se encuentra en el vinagre en un 5-6% es el responsable de su sabor, y lo mismo sucede con el ácido butanoico (butírico), que es el responsable de las características de la mantequilla rancia ("butyrum", mantequilla en latín).

La estructura del grupo carboxilo, al estar constituido por el grupo OH y el grupo C=O, proporciona una polaridad especial a la molécula, lo que hace que las moléculas de ácidos carboxílicos puedan formar puentes de hidrógeno tanto entre ellas como con las moléculas de agua cuando están en disolución.

Este doble puente de H intermolecular determina que los puntos de ebullición de los ácidos carboxílicos sean más altos que los de los alcoholes de masa y estructura similares, aumentando al hacerse mayor la masa molar del ácido.

Los ácidos desde el metanoico hasta el butanoico son totalmente solubles en agua a temperatura ambiente. A medida que el grupo COOH pierde importancia frente al resto de la molécula, la solubilidad en agua disminuye y aumenta la solubilidad en disolventes apolares.



Obtención de ácidos carboxílicos

En el industria se prepara el ácido acético (que es el más importante de todos los ácidos orgánicos) aprovechando que el etanol y el etanal se oxidan con facilidad a ácido.

En el laboratorio el método más empleado es la oxidación de alcoholes primarios o de aldehídos, como puedes ver en la imagen, en la que R- es un radical (CH₃-, CH₃-CH₂-, etc).



4.5 Ésteres

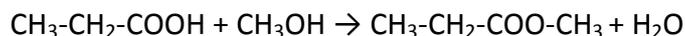
Los ésteres son derivados funcionales de los ácidos. Se puede considerar que estos compuestos resultan de sustituir el grupo hidroxilo del ácido por el grupo -OR (-O-CH₃, -O-CH₂-CH₃, etc). Cuando al manifestarse la acidez de los ácidos el hidrógeno queda sustituido por un metal, se forman sales.

Muchos ésteres se fabrican en grandes cantidades como disolventes indispensables en la industria de pinturas, imprentas, adhesivos, plaguicidas o bien como intermedios para obtener fibras sintéticas, películas fotográficas, para la industria de perfumería, plastificantes, etc.

CH ₃ - COO - CH ₃	Etanoato de metilo (Acetato de metilo)	CH ₃ - COO - CH ₂ - CH ₃	Etanoato de etilo (Acetato de etilo)
HCOO - CH ₂ - CH ₃	Metanoato de etilo (Formiato de etilo)	CH ₃ - CH ₂ - COO - CH ₃	Propanoato de metilo
CH ₃ - COONa	Etanoato de sodio (Acetato de sodio)	CH ₃ - CH ₂ - COOK	Propanoato de potasio

Obtención de ésteres

La reacción más habitual es la esterificación, en la que un ácido reacciona con un alcohol para producir un éster y formarse agua.



Ten en cuenta que el agua se forma entre el OH del ácido y el H del alcohol.

Esta reacción es reversible, de forma que la hidrólisis del éster produce ácido y alcohol. Si se produce en medio básico, la hidrólisis es completa, y se obtiene el alcohol y la sal del ácido. Cuando se forma la sal de un ácido graso de cadena larga, se obtiene un jabón, y la reacción es la saponificación.

Ésteres de interés biológico: grasas, aceites y ceras

Las grasas, aceites y ceras naturales son ésteres de elevada masa molecular de gran interés biológico. Se les conoce con el nombre de lípidos y son muy abundantes en animales y plantas. Las grasas (sólidas) y los aceites (líquidos) son ésteres de los ácidos grasos superiores (C₁₂ a C₂₂) y la glicerina (propanotriol). Se les llama corrientemente glicéridos. Los aceites contienen una mayor cantidad de ácidos grasos no saturados. Las ceras son mezclas complejas de ésteres, ácidos y algunos alcanos superiores, pero los componentes principales son ésteres procedentes de ácidos grasos de cadena larga y alcoholes de elevada masa molecular. Entre los ácidos grasos saturados se puede mencionar el palmítico (hexadecanoico) y el esteárico (octadecanoico), y entre los no saturados, el oleico (9-octadecenoico).

5. Polímeros

Los polímeros (del griego polys, muchos, y meros, parte) son moléculas grandes que se forman por combinación de un número muy elevado de moléculas pequeñas denominadas monómeros. Los polímeros pueden estar formados tanto por moléculas orgánicas como inorgánicas (siliconas, silicatos, etc).

En este tema vas a ver solamente los constituidos por moléculas orgánicas. Se clasifican, según su origen, en **naturales** y **sintéticos**. El polietileno, por ejemplo, es un polímero sintético, mientras que la celulosa y las proteínas son polímeros naturales. Las proteínas y, en general, las llamadas macromoléculas naturales, han sido en cierto modo el modelo que ha servido para abordar la obtención "artificial" de sustancias similares, con objeto de imitar y, en algunos casos mejorar, determinadas propiedades.



La mayoría de polímeros sintéticos son moléculas orgánicas de cadena larga que contienen miles de unidades monómeras, por lo que su masa molecular es elevada. El 80% de la química orgánica industrial se dedica a la producción de polímeros sintéticos.

Los materiales denominados generalmente en el lenguaje ordinario **plásticos**, que se utilizan para fabricar todo tipo de utensilios y fibras sintéticas, están constituidos por polímeros sintéticos. Las bolsas de plástico están hechas de polietileno o polipropileno, que son materiales no biodegradables. Generalmente hay un solo tipo de unidad monómera o, como mucho, un pequeño número de unidades monómeras diferentes. Sin embargo, entre los polímeros naturales, tales como los hidratos de carbono y las proteínas, son numerosos los que contienen muchas unidades monómeras diferentes.

La industria de los polímeros se distingue de las demás porque consume la mayor cantidad de productos químicos orgánicos de base para producir distintas clases de materiales: plásticos, fibras, elastómeros, adhesivos y recubrimientos de superficies.

Clasificación de los polímeros según sus aplicaciones

Los términos polímero y resina se emplean como sinónimos en la industria química, pero los términos plástico, elastómero, fibra, recubrimientos y adhesivos tienen significado específico, que corresponde a los cinco fines principales de los polímeros sintéticos. Los polímeros suelen ser, en general, amorfos, pero pueden llegar a ser parcialmente cristalinos, lo que determina sus propiedades.

- Los **elastómeros** tienen rigidez baja y se estiran con facilidad.
- Los **plásticos** se definen como polímeros que han sido moldeados, en general haciéndolos fluir bajo presión, por diferentes procesos. La rigidez, al igual que otras propiedades de los plásticos, depende de sus aplicaciones. En general, las propiedades de los plásticos son intermedias entre las de los elastómeros y las fibras.

- Las **fibras**, para que puedan tejerse o enlazarse formando prendas estables, no deben ceder demasiado. Deben ser rígidas, de baja extensibilidad y resistentes.
- Los **recubrimientos** y **adhesivos** suelen tener poca rigidez, de un nivel intermedio entre los elastómeros y los plásticos, con cierto grado de extensibilidad.



El PVC y los residuos tóxicos

El cloruro de polivinilo (PVC) es uno de los materiales plásticos de mayor número de aplicaciones de la sociedad moderna. Se utiliza en envases, contenedores, láminas para envolver alimentos, para fabricar tarjetas de crédito, discos, juguetes, carpetas, bolígrafos, en construcción, para marcos de ventanas, puertas, paredes, revestimientos, tuberías, suelos, papeles pintados, persianas, cortinas, en soldaduras, como aislante, en muebles de jardín, como imitación de piel, etc. La lista podría ser interminable, lo que puede dar cuenta de su importancia, pero, sin embargo, suscita más preocupación ecológica que ningún otro plástico, ya que los productos de PVC son el resultado de una industria altamente tóxica y su utilización y vertido genera riesgos para la salud y para el medio ambiente.



El PVC produce un enorme impacto ambiental durante todo su ciclo de vida. Su producción va unida a la de cloro (sustancia altamente reactiva, tóxica e imposible de integrar en el ecosistema), al transporte de materiales explosivos peligrosos y a la generación de residuos tóxicos; para ablandarlo se le añaden aditivos químicos, metales pesados para estabilizarlo (el Cd evita el deterioro producido por los rayos UV), endurecerlo o colorearlo, y fungicidas para evitar que los hongos lo destruyan.

El vertido de PVC contamina el subsuelo y las aguas subterráneas con sus aditivos: cuando se quema en vertederos se produce ácido clorhídrico y cloruros metálicos; en su incineración se forman dioxinas, otros organoclorados tóxicos y metales pesados.

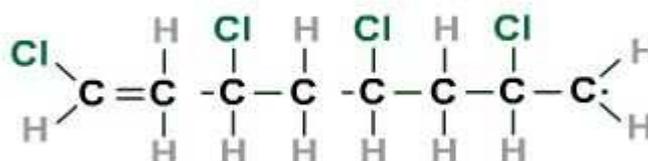
En la actualidad, se considera que este plástico es reciclable, pero el proceso se enfrenta a toda una serie de problemas, como el hecho de que el PVC contenga metales pesados como aditivos y lo antieconómico que resulta, ya que es más caro el plástico reciclado que el virgen.

5.1 Reacciones de polimerización

Polimerización por adición

Este tipo de reacciones de polimerización se efectúa habitualmente con monómeros que tienen doble enlace carbono-carbono. Un ejemplo de este tipo de reacciones, muy importante desde el punto de vista industrial, es la que tiene lugar al adicionarse un alqueno a otro en presencia de un catalizador.

En el simulador puedes ver la polimerización para formar el policloruro de vinilo y el poliestireno, dos de los plásticos más conocidos.

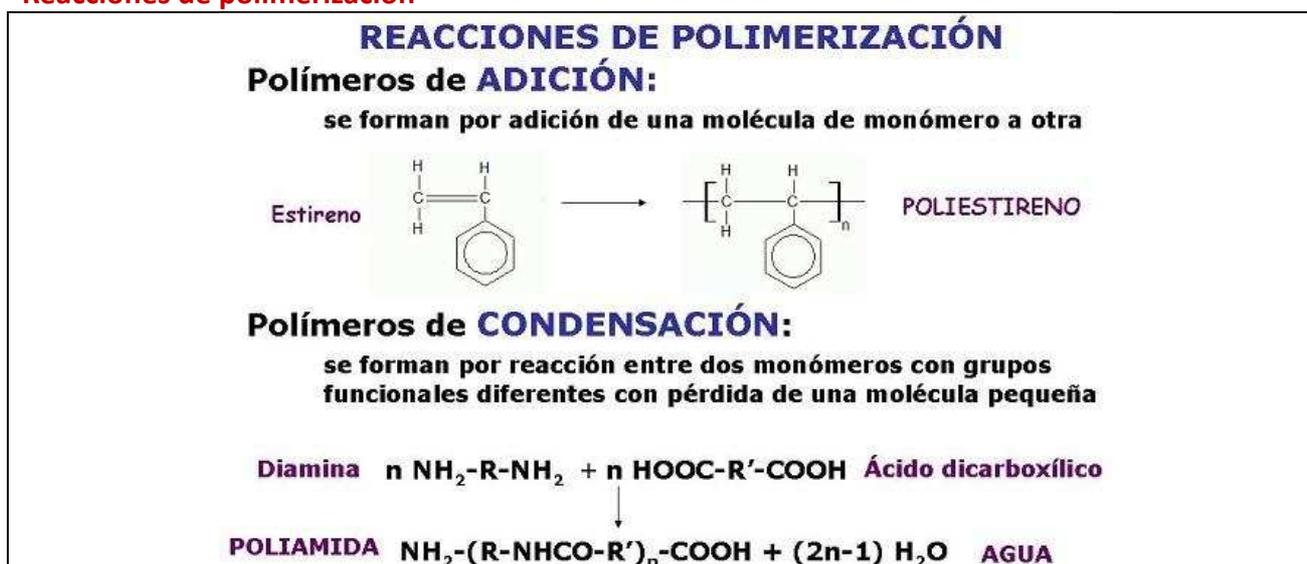


Polimerización por condensación

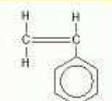
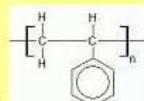
En este caso, la polimerización tiene lugar por reacción entre moléculas que poseen grupos funcionales. Se forman cuando las unidades de monómero se combinan para dar cadenas polímeras, muchas veces mediante la eliminación de moléculas pequeñas como las de agua.

Hay muchos ejemplos de reacciones de este tipo, a partir de las cuales se obtienen polímeros que se solidifican en gránulos, fibras o láminas. Algunas fibras se utilizan mezcladas con algodón para tejidos de punto o sin algodón para trajes, alfombras, cortinas, etc. Otras, por ejemplo las de poliéster, se utilizan para cintas magnéticas de audio y vídeo, cintas transportadoras, paneles, etc. En el simulador puedes ver la formación de péptidos a partir de varios aminoácidos. Si el número de monómeros unidos es superior a 100, lo que ha formado es una proteína.

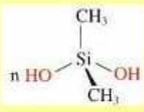
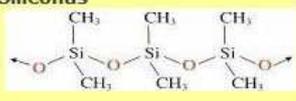
Reacciones de polimerización



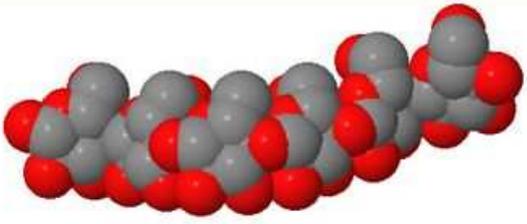
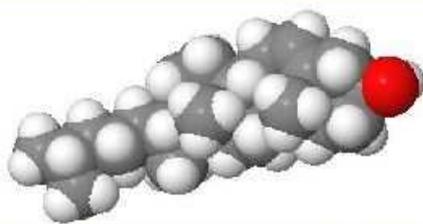
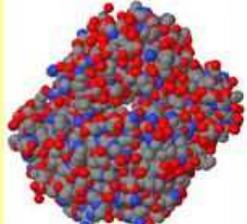
Polímeros de adición

Monómero	Polímero	Usos principales
Etileno $\text{CH}_2=\text{CH}_2$	Polietileno $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	Bolsas, botellas, juguetes
Cloruro de vinilo $\text{CH}_2=\text{CHCl}$	Policloruro de vinilo $-\text{CH}_2-\text{CHCl}-\text{CH}_2-\text{CHCl}-$	Ventanas, sillas, aislantes
Tetrafluoroetileno $\text{CF}_2=\text{CF}_2$	PTFE (Teflón) $-\text{CF}_2-\text{CF}_2-\text{CF}_2-\text{CF}_2-$	Antiadherente, aislante
Estireno 	Poliestireno 	Aislante, envases desechables

Polímeros de condensación

Monómero	Polímero	
Etanodiol (etilenglicol) $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CH}_2\text{OH}$	Polietilenglicol $\dots\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}\dots$	Suele producirse por la pérdida de una molécula de agua entre 2 grupos (OH).
Dialcohol $\text{HOCH}_2-\text{R}-\text{CH}_2\text{OH}$ Ácido dicarboxílico $\text{HOOC}-\text{R}'-\text{COOH}$	Poliésteres $\text{OHCH}_2-(\text{R}-\text{CH}_2-\text{COO}-\text{R}')_n-\text{COOH}$	Se producen por sucesivas reacciones de esterificación (alcohol y ácido) Forman tejidos. El más conocido es el "tergal" formado por ácido tereftálico (ácido p-benceno dicarboxílico) y el etilenglicol (etanodiol).
Diamida $\text{NH}_2-\text{R}-\text{NH}_2$ Ácido dicarboxílico $\text{HOOC}-\text{R}'-\text{COOH}$	Poliamidas $\text{NH}_2-(\text{R}-\text{NHCO}-\text{R}')_n-\text{COOH}$	Se producen por sucesivas reacciones entre el grupo ácido y el amino con formación de amidas. Forman fibras muy resistentes. La poliamida más conocida es el nailon 6,6 formado por la copolimerización del ácido adípico (ácido hexanodioico) y la 1,6-hexanodiamina
	Siliconas 	Proceden de monómeros del tipo $\text{R}_2\text{Si}(\text{OH})_2$ Se utiliza para sellar juntas debido a su carácter hidrofóbico

5.2 Biopolímeros

Glúcidos (celulosa)	
Lípidos (colesterol)	
Proteínas (hemoglobina)	

6. Industria petroquímica

La industria petroquímica es una de las industrias químicas de mayor importancia durante las últimas décadas, tanto a la hora de la producción de combustibles como por su contribución al desarrollo de nuevos materiales.

Esta industria utiliza el petróleo crudo y el gas natural, junto con otros combustibles fósiles, como materias primas para la obtención de otras sustancias químicas derivadas.



Este petróleo crudo que se ha extraído es un líquido pardo, viscoso, más ligero que el agua, difícilmente combustible y sin aplicaciones prácticas.

Sin duda el ejemplo más claro de industria petroquímica es la industria del petróleo. En la siguiente infografía puedes observar todo el proceso que dicha industria lleva a cabo, desde su extracción hasta la obtención de los productos resultantes en las refinerías.

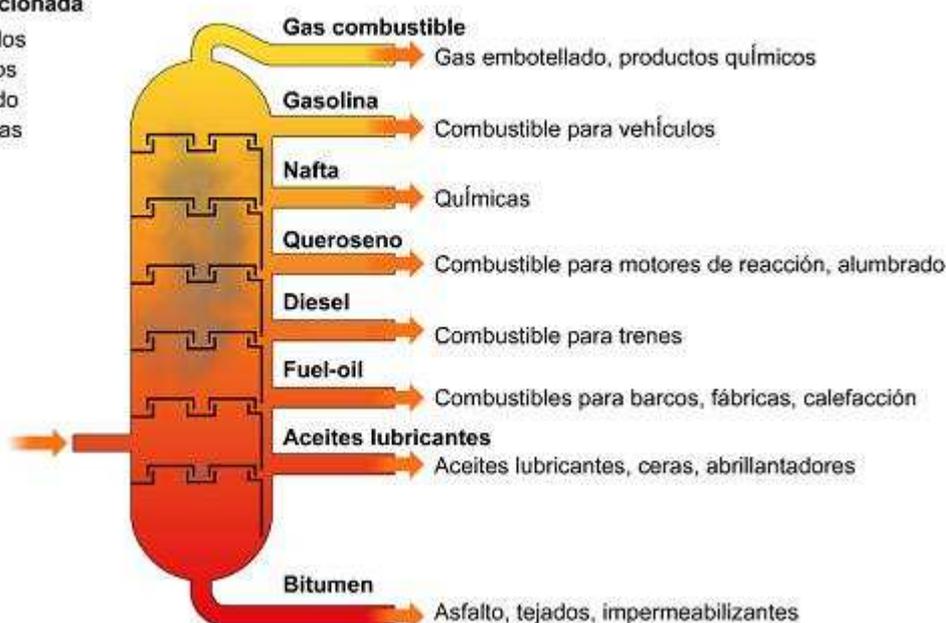
Los principales procesos seguidos en una refinería son los siguientes:

1) Destilación fraccionada

Tiene lugar en las denominadas torres de fraccionamiento, como la que puedes observar en la imagen. En esta operación se separan los distintos componentes (fracciones) del crudo. Con ese fin, se vaporiza en un horno y se lleva a la torre, donde los vapores se condensan a distintas alturas, en función de su densidad, situándose los más ligeros en la parte superior de la torre y los más pesados en la inferior. En la imagen se observa la distribución y los productos obtenidos en cada fracción:

Destilación fraccionada

La obtención de los distintos derivados depende del grado de ebullición de las fracciones o componentes del petróleo.



CONSUMER.es EROSKI

2) Refino

En esta etapa se eliminan impurezas y mejoran las propiedades de las fracciones obtenidas en la destilación fraccionada.

3) Craqueo

Mediante este proceso se fragmentan las cadenas largas de hidrocarburos en otras más cortas, con el fin de obtener combustibles como la gasolina.

4) Transformación en derivados

En esta etapa se transforman algunas fracciones en compuestos derivados de importancia industrial o económica, precursores de la síntesis de otros derivados de consumo como las olefinas o los hidrocarburos aromáticos, a partir de los cuales se obtienen productos de mayor valor como plásticos o fibras.

7. Nuevos materiales

La variedad de sustancias que se obtienen a partir de los productos de la industria petroquímica es inmensa, pero merece la pena detenerse en los más recientes, pues son los que han permitido (y permitirán) mejorar nuestra calidad de vida.

Entre estas nuevas sustancias destacan los denominados nuevos materiales, que están específicamente diseñados para procesos determinados.

Plásticos y fibras

Los plásticos y fibras son polímeros. En su producción se busca que proporcionen propiedades que difícilmente pueden lograrse con materiales naturales, tales como ligereza, versatilidad, resistencia física, química y biológica o aspectos estéticos como el color o el tacto agradable.



Pese a denominarse plásticos, muchos de ellos no presentan en su estado utilizable esta propiedad, sino que la presentan cuando se encuentran fluidos durante su proceso de producción, para facilitar su moldeado.

Algunas de las propiedades comunes a la mayor parte de los plásticos y fibras son:

- Su fabricación industrial es barata.
- Son fácilmente manipulables en estado fluido.
- Tienen densidad baja.
- Son poco resistentes a las altas temperatura.
- Son aislantes de la electricidad.

Materiales compuestos (composites)

Oímos hablar de fibra de carbono, kevlar, etc., y pensamos en vehículos de competición, cascos, aeronaves... Todos ellos son materiales compuestos o composites. Estos se caracterizan por estar formados por dos o más componentes, insolubles entre sí y que unidos presentan unas propiedades mejores de las que presentarían sus componentes por separado.

Los materiales compuestos poseen unas propiedades mecánicas de alto nivel, como buena resistencia a tracción, flexión, cortadura e impacto, junto con un peso reducido y un excelente comportamiento ante la corrosión provocada por agentes químicos o atmosféricos.

Otra ventaja es que no presentan ningún tipo de interferencia a las ondas electromagnéticas, ni conducen la electricidad, y en general son ignífugos, lo que les permite multitud de aplicaciones en instalaciones eléctricas, comunicaciones, etc.



Cerámicas técnicas

Hasta hace poco la cerámica era la tradicional, basada en la arcilla, que da lugar a objetos duros, porosos y frágiles. Sin embargo, en las últimas décadas se han incorporado técnicas para mitigar estos problemas y acentuar las características favorables del material, permitiendo su uso en aplicaciones no tradicionales.

Por su resistencia y no presentar rechazo por parte del organismo se utilizan en prótesis, y en la industria espacial, por su comportamiento refractario y soportar muy bien altísimas temperaturas, así como en la fabricación de motores cerámicos.



Tabla Periódica de los Elementos

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII B	VIIIB	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA			
1 H Hidrógeno 1.00784	2 He Helio 4.002602	3 Li Litio 6.941	4 Be Berilio 9.012182	5 B Boro 10.811	6 C Carbono 12.0107	7 N Nitrógeno 14.00674	8 O Oxígeno 15.9994	9 F Fluor 18.9984032	10 Ne Neón 20.1797	11 Na Sodio 22.989770	12 Mg Magnesio 24.3050	13 Al Aluminio 26.981538	14 Si Silicio 28.0855	15 P Fósforo 30.973761	16 S Azufre 32.065	17 Cl Cloro 35.453	18 Ar Argón 39.948		
19 K Potasio 39.0983	20 Ca Calcio 40.078	21 Sc Escandio 44.955910	22 Ti Titanio 47.887	23 V Vanadio 50.9415	24 Cr Cromo 51.9961	25 Mn Manganeso 54.938049	26 Fe Hierro 55.8457	27 Co Cobalto 58.933200	28 Ni Níquel 58.6934	29 Cu Cobre 63.546	30 Zn Zinc 65.409	31 Ga Galio 69.723	32 Ge Germanio 72.64	33 As Arsénico 74.92150	34 Se Selenio 78.96	35 Br Bromo 79.904	36 Kr Kriptón 83.798		
37 Rb Rubidio 85.4678	38 Sr Estroncio 87.62	39 Y Itrio 88.90585	40 Zr Circonio 91.224	41 Nb Niobio 92.90638	42 Mo Molibdeno 95.94	43 Tc Tecnecio (98)	44 Ru Rutenio 101.07	45 Rh Rodio 102.90550	46 Pd Paladio 106.42	47 Ag Plata 107.8682	48 Cd Cadmio 112.411	49 In Indio 114.818	50 Sn Estaño 118.710	51 Sb Antimonio 121.760	52 Te Teluro 127.60	53 I Yodo 126.90447	54 Xe Xenón 131.293		
55 Cs Cesio 132.90545	56 Ba Bario 137.327	57 to 71 Actinidos	72 Hf Hafnio 178.49	73 Ta Tántalo 180.9479	74 W Wolframio 183.84	75 Re Renio 186.207	76 Os Osmio 190.23	77 Ir Iridio 192.217	78 Pt Platino 195.078	79 Au Oro 196.96655	80 Hg Mercurio 200.59	81 Tl Talio 204.3833	82 Pb Plomo 207.2	83 Bi Bismuto 208.98038	84 Po Polonio (209)	85 At Astatio (210)	86 Rn Radón (222)		
87 Fr Francio (223)	88 Ra Radio (226)	89 to 103 Actinidos	104 Rf Rutherfordio (261)	105 Db Dubnio (262)	106 Sg Seaborgio (266)	107 Bh Bohrio (264)	108 Hs Hasio (269)	109 Mt Meitnerio (268)	110 Ds Darmstadtio (271)	111 Rg Roentgenio (272)	112 Uub Ununbio (285)	113 Uut Ununtrio (284)	114 Uuq Ununquadio (289)	115 Uup Ununpentio (288)	116 Uuh Ununhexio (286)	117 Uus Ununseptio (289)	118 Uuo Ununoctio (289)		
109 Me Meitnerio (268)	110 Ds Darmstadtio (271)	111 Rg Roentgenio (272)	112 Uub Ununbio (285)	113 Uut Ununtrio (284)	114 Uuq Ununquadio (289)	115 Uup Ununpentio (288)	116 Uuh Ununhexio (286)	117 Uus Ununseptio (289)	118 Uuo Ununoctio (289)	119 Uuq Ununquadio (289)	120 Uup Ununpentio (288)	121 Uuh Ununhexio (286)	122 Uus Ununseptio (289)	123 Uuo Ununoctio (289)	124 Uuq Ununquadio (289)	125 Uup Ununpentio (288)	126 Uuh Ununhexio (286)	127 Uus Ununseptio (289)	128 Uuo Ununoctio (289)

C Alcalinos
Br Alcalinotérreos
H Metales de transición
Tc Lantánidos
C Actínidos
Br Metales del bloque p
H No metales
Tc Gases nobles
C Sólido
Br Líquido
H Gas
Tc Synthetic

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

Design Copyright © 1987 Michael Dausch (michael@dayan.com) <http://www.dayan.com/periodic>

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.

Tema 4. Cinemática

El movimiento es uno de los fenómenos físicos que se aprecian claramente si observamos el mundo que nos rodea. Vemos el movimiento de las personas, de los automóviles, del Sol y de la Luna, de los cuerpos que caen.....

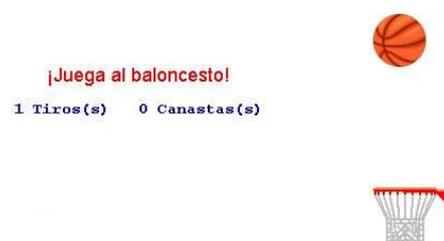
Los conceptos fundamentales necesarios para explicar esos fenómenos los viste de forma cualitativa en 2º de ESO. Todos esos movimientos siguen unas leyes, sencillas en los casos más habituales, que se pueden expresar mediante ecuaciones matemáticas llamadas ecuaciones del movimiento, como viste en 4º de ESO.

En este tema vas a profundizar en algunos de esos aspectos, sobre todo en la formalización matemática de situaciones de interés con uno y dos móviles en movimientos horizontales, verticales y circulares, que ya resolviste en casos sencillos en ESO, y que ahora extenderás a casos con dos móviles y a movimientos en el plano (lanzamientos horizontal y oblicuo).

El baloncesto

Vas a comenzar con un partido de baloncesto. Cuando se lanza a canasta (aunque no se sea jugador de la NBA ni de la ÑBA), 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, el jugador decide lanzar con más o menos velocidad y con un ángulo u otro.

Utiliza el siguiente simulador y verás que puedes lograr encestar modificando los parámetros del tiro: clicas sobre la pelota y arrastra el ratón para marcar la dirección y la velocidad de lanzamiento, soltando cuando te parezca oportuno. La pelota se moverá tal como tú hayas indicado. Aunque al principio no resulta fácil, rápidamente conseguirás encestar. Puedes clicar cuando la pelota está en el aire (¡habrás capturado un rebote!) y lanzar desde esa posición. También puedes probar a lanzar verticalmente hacia arriba para ver cómo se mueve el balón. ¡Experimenta!



Fíjate en lo que haces, porque te resultará muy útil cuando resuelvas la situación de los movimientos en el plano.

1. Magnitudes en el movimiento

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.

Y si vas en el AVE, ¿te mueves o no? ¿Qué opina al respecto tu vecino, sentado como tú leyendo una revista?

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 fijo.

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

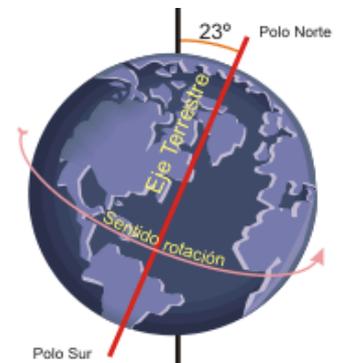
Movimiento y sistema de referencia

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

Pero ¿realmente las referencias anteriores están fijas?

Si pensamos en que la Tierra gira sobre sí misma, tanto el árbol como la farola se mueven exactamente igual que la Tierra a la que están unidos.

Por tanto, **no hay sistemas de referencia fijos** de forma absoluta. Desde el punto de vista práctico, un objeto situado sobre la Tierra que esté en reposo respecto de ésta será un buen sistema de referencia; es decir, se puede utilizar el árbol, la casa y la farola a los que ya nos hemos referido.



Trayectoria y sistema de referencia

Fíjate ahora en lo que sucede cuando se deja caer una pelota desde lo alto del mástil de un barco de vela. Se trata de que "veas" la trayectoria (la línea que une todos los puntos por los que pasa el móvil) que sigue desde dos sistemas de referencia: a) la costa; b) el mismo barco. El hecho experimental es el mismo, ¡pero los dos observadores no ven lo mismo!



¿Qué movimiento se ve?

Los movimientos que aprecian dos observadores pueden ser diferentes: no se observa el mismo movimiento desde un sistema de referencia en reposo que desde uno que se mueve.

Magnitudes escalares y magnitudes vectoriales

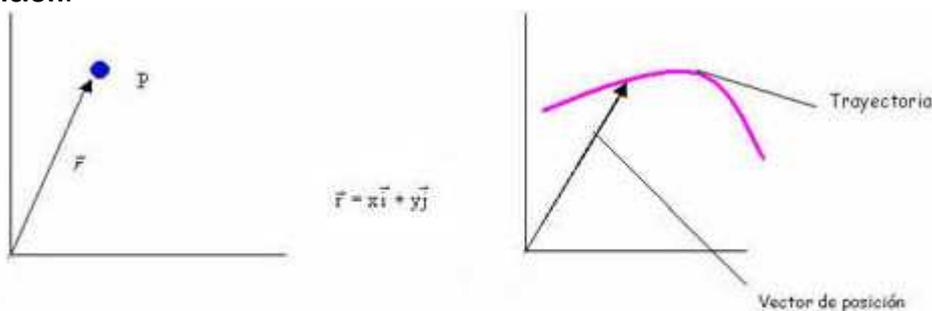
Una magnitud es escalar si indicando su valor numérico ya queda totalmente definida: tiempo, masa o temperatura.

Recuerda que en las magnitudes vectoriales debes conocer además de su magnitud o intensidad (**módulo del vector**, longitud del vector), su **dirección** y su **sentido**. En algunos casos, como en las fuerzas, además hay que saber su **punto de aplicación** para tener totalmente definido su efecto.

1.1 Expresión de la posición

Posición y trayectoria

Como la posición es una magnitud vectorial, se representa mediante un vector, llamado **vector de posición**.



$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j}$$

Fíjate: el extremo del vector de posición va dibujando la trayectoria

Elección del sistema de referencia

Representar puntos en el plano resulta muy sencillo, ya que se trabaja con los ejes de coordenadas típicos que se utilizan en Matemáticas. Para identificar un punto se indican sus dos coordenadas en el par (x,y) , con sentido positivo a la derecha y arriba.

Componentes del vector de posición

Con esta notación, \vec{r} , la flecha indica que la magnitud es vectorial, mientras que si no hay flecha se indica el módulo del vector, $|\vec{r}|$ o r . En el vector de posición es la distancia al origen.

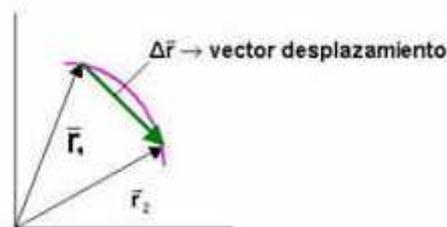
En lugar del propio vector, con mucha frecuencia se trabaja con sus **componentes**. ¿Cómo se obtienen las componentes de un vector?: en este caso, es muy sencillo, ya que las dos componentes están en la dirección de los ejes horizontal y vertical, **x** e **y**. Es decir, el vector de posición es la suma de sus vectores componentes. También se suelen escribir las componentes en función de los vectores unitarios en los dos ejes.

$$\vec{r} = \vec{x} + \vec{y} = x\vec{i} + y\vec{j}$$

$$|\vec{r}| = r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Vector desplazamiento y espacio recorrido

Cuando un objeto cambia su posición, su vector de posición también se modifica. El **vector desplazamiento** es precisamente la diferencia entre los vectores de posición final e inicial. Si te fijas en la figura, la diferencia de dos vectores es otro vector que comienza en el extremo del vector inicial y termina en el extremo del vector final.



El módulo del vector desplazamiento se llama desplazamiento, y es una magnitud escalar.



El **espacio recorrido** es la longitud de la trayectoria descrita por el móvil. Solamente coincide con el módulo del vector desplazamiento si la trayectoria es rectilínea y no hay cambio de sentido en el movimiento. Fíjate en el dibujo y verás que el módulo del vector desplazamiento -longitud de la flecha verde- no tiene el mismo valor que la longitud de la trayectoria -línea rosa-, y en que coincidirían solamente si la trayectoria fuese recta.

1.2 Vector velocidad

Observa en la imagen la posición que ocupan los corredores. ¿Cuál de ellos es el más rápido? La respuesta es clara: aquél que recorra la mayor distancia en el menor tiempo. Para indicarlo se utiliza una magnitud física, la velocidad.

La velocidad mide la rapidez con que un móvil cambia su posición. En el Sistema Internacional de unidades se mide en metros por segundo (m/s).

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.**

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 rapidez

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. ¿Recuerdas la equivalencia hay entre ellas? Fíjate en la siguiente conversión de unidades:

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

Despejando la igualdad, **1 m/s = 3,6 km/h**. Por tanto, una rapidez de 20 m/s corresponde a 72 km/h.

Rapidez y velocidad

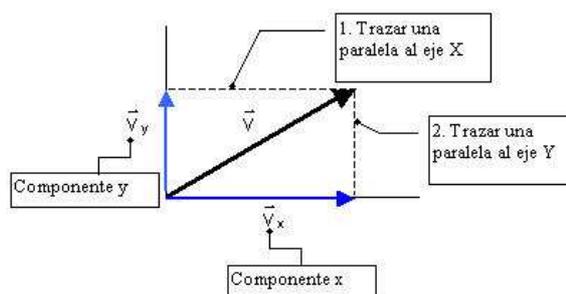
Cuando decimos que la velocidad de un coche debe ser como máximo de 50 km/h cuando circula en ámbitos urbanos, en realidad nos estamos refiriendo a la magnitud del vector velocidad, a su módulo, que recibe el nombre de **rapidez** o **celeridad**.

En ese sentido, el marcador de los coches no indica la velocidad, sino la rapidez (¡por lo que habría que llamarlo "rapidímetro" o "celerímetro" en lugar de velocímetro!): **la velocidad es una magnitud vectorial**, mientras que **la rapidez es un escalar**.

En la vida diaria, se utiliza el término velocidad en lugar de la rapidez: se dice que un autobús lleva una velocidad de 80 km/h, cuando se está indicando su rapidez. Se tiene en cuenta la dirección y el sentido del movimiento cuando resulta necesario.

Expresión del vector velocidad en función de sus componentes

Como ya sabes, la velocidad es una magnitud vectorial y su dirección es tangente a la trayectoria en cada punto. Como siempre se utiliza la representación en el plano xy, las componentes del vector velocidad se obtienen con facilidad.



$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y = v_x \vec{i} + v_y \vec{j}$$

Determinación de la rapidez

Como la rapidez es el módulo del vector velocidad, solamente tenemos que utilizar el teorema de Pitágoras, como ya se ha visto antes con el vector de posición:

$$|\vec{v}| = v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

Significado de la velocidad negativa

¿Qué quiere decir que un objeto lleva velocidad negativa? Vamos a analizar el caso más sencillo, comparando el caso de dos objetos que se mueven sobre la misma línea recta (que asociamos al eje matemático x) llevando velocidades respectivas y constantes de 5 m/s el móvil A y de -5 m/s el móvil B.

Vectorialmente, ambas velocidades se expresan como:

$$\vec{v}_a = 5\vec{i}; \quad \vec{v}_b = 5\vec{j}$$

En ambos casos, el módulo del vector es 5, por lo que la rapidez del movimiento también es 5. Es decir, los dos móviles recorren 5 metros en cada segundo. Entonces ¿dónde está la diferencia?: en que el móvil a se mueve en el sentido positivo del eje x (hacia la derecha), mientras que el b lo hace en el sentido negativo (hacia a la izquierda).

1.3 Vector 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 vector velocidad se ha modificado? La rapidez, que pasa del valor inicial a cero cuando el coche se para.

Se dice que hay aceleración cuando cambia el vector velocidad. La aceleración también es una magnitud vectorial, de la que debemos conocer tanto módulo como dirección y sentido.

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 el movimiento es rectilíneo, la única forma de que haya aceleración es que el móvil aumente o disminuya su rapidez (como se dice habitualmente, acelere o frene).

Los movimientos no rectilíneos

Vamos 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 indique el mismo valor. En este caso, la **aceleración** se llama **normal** o **centrípeta**.

Aceleración y rapidez

Hay aceleración en un movimiento si cambia la rapidez (**aceleración tangencial**), si cambia la dirección (**aceleración centrípeta** o **normal**) o si lo hacen ambas.

Si la aceleración es positiva, la rapidez aumenta durante el proceso. Pero si es negativa, disminuye, hasta que el móvil llega a detenerse.

2. Movimientos rectilíneos

En los movimientos rectilíneos la dirección del movimiento no cambia, aunque puede hacerlo el sentido. Este curso solamente vas a ver los dos tipos de movimientos rectilíneos que ya conoces: uniforme (velocidad constante) y uniformemente acelerado (aceleración constante).

Otro movimiento rectilíneo muy importante es el movimiento vibratorio armónico, como puede ser el de un muelle que oscila, pero su descripción queda para la Física de 2º de Bachillerato.

Movimientos rectilíneos

En un movimiento rectilíneo, la dirección de su vector velocidad permanece constante, por lo que su trayectoria es una línea recta.

Composición de movimientos

Si un móvil M se mueve con respecto a un sistema de referencia que también se mueve con respecto a uno fijo ¿cómo se puede saber la velocidad de M con respecto al sistema fijo?

Fíjate en la cinta de imagen, que es de las que hay en los gimnasios para andar o correr. Si la pones a funcionar a 5 km/h (se mueve la cinta hacia atrás) y tú también te pones a andar a esa velocidad (hacia delante) ¿qué verá un observador fijo situado en el gimnasio?



El sentido común te indica que verá que tu posición no cambia, aunque ve que estás andando. La apreciación es obvia: si tu velocidad fuese mayor o menor que la de la cinta, ¡te caerías!

2.1 Movimiento rectilíneo uniforme (MRU)

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

Para obtener la ecuación del movimiento de un MRU puedes 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 puedes tomar $t_0=0$ en todas las ecuaciones descritas en este tema.

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:

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

que es la ecuación de la posición en un MRU.

Ecuaciones del MRU

$$x = x_0 + vt$$

$$v = v_0$$

$$a = 0$$

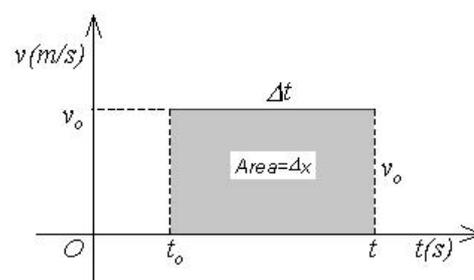
Gráficas de un movimiento rectilíneo uniforme

Las gráficas de un MRU tienen las siguientes características:

- La gráfica 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 de posiciones en el valor de la posición inicial. La pendiente de la recta es positiva si la velocidad es positiva y negativa en caso contrario.
- La gráfica velocidad (v) frente al tiempo (t) es siempre una recta horizontal, que corta el eje de velocidades en el valor de la velocidad del movimiento.
- Dado que no existe aceleración, ésta permanece con valor cero durante todo el movimiento.

Espacio recorrido y gráfica velocidad-tiempo

El área contenida bajo la gráfica que representa la velocidad (v) frente al tiempo (t) se corresponde con el espacio total recorrido durante el movimiento. Esta característica es válida para todo tipo de movimientos, no sólo para el rectilíneo uniforme.



2.2 Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA)

Como su propio nombre indica, en un MRUA la aceleración es constante, en módulo, dirección y sentido. Es decir, la velocidad aumenta o disminuye de forma constante en el tiempo.

Es frecuente encontrar movimientos con aceleración constante, al menos durante periodos de tiempo no muy grandes. Eso sí, hay uno especialmente importante: los movimientos verticales en caída libre. En ellos, la aceleración es de $9,8 \text{ m/s}^2$ hacia abajo. Es decir, un móvil en caída libre aumenta su velocidad en 9,8 metros por segundo en cada segundo de su movimiento.

Ecuaciones del MRUA

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

Si partimos de la definición de aceleración media:

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

tomando de nuevo $t_0=0$ 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 el 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 de un MRUA

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

$$v = v_0 + at$$

$$a = a_0$$

Gráficas de un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado

Las gráficas de un MRUA tienen las siguientes características:

- La gráfica posición (x) frente al tiempo (t) 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 (v) frente al tiempo (t) es una recta oblicua, 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 pendiente es positiva si la aceleración es positiva y negativa en caso contrario.
- La gráfica aceleración (a) frente al tiempo (t) es siempre una recta horizontal, que corta el eje de aceleraciones en el valor de la aceleración del movimiento.

La caída libre

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:

$$v = v_0 - gt$$

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

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 queda reflejado en la ecuación.

2.3 Movimientos de dos móviles

Aunque muchas veces los problemas de cinemática 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 en describir sus movimientos siempre referidos al mismo sistema de referencia, para obtener resultados coherentes. 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:

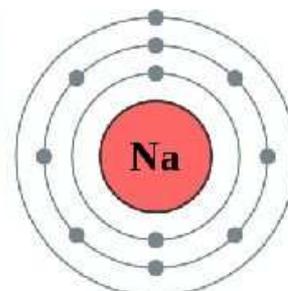
- Las ecuaciones se aplican a cada movimiento por separado y hay que tener cuidado en diferenciar entre las variables de un movimiento y otro. Esto puede conseguirse añadiendo subíndices que los identifiquen.

- Aunque algunas variables serán diferentes para los dos movimientos, otras serán iguales. Debemos identificar primero estas últimas, pues nos 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.

No obstante, muchas veces lo más importante es entender bien los conceptos, pues puede ahorrarte mucho trabajo.

3. Movimiento circular uniforme

Los movimientos más habituales no son rectilíneos. No tienes más que mirar a tu alrededor: a pesar de que la trayectoria recta es la más corta entre dos puntos, los automóviles se mueven por carreteras con curvas y con cambios de rasante, o bien se desvían para adelantar o detenerse; cuando un jugador de baloncesto lanza a canasta, el balón sigue una trayectoria parabólica; las ruedas de una bicicleta giran, lo mismo que hace la Luna alrededor de la Tierra, y también hay casos en los que las trayectorias son muy complejas, como sucede en cualquier montaña rusa. O situaciones en las que el movimiento es aleatorio, sin seguir ningún patrón geométrico, tal y como sucede en las partículas de un gas.



El caso de mayor interés y particularmente sencillo, en el que el móvil gira con rapidez constante (en intervalos de tiempo iguales recorre siempre el mismo espacio) y siempre a la misma distancia del centro de giro, es decir, con radio de giro fijo. El movimiento se llama **circular uniforme**, y se suele indicar como **mcu**.

Seguramente habrás pensado en las agujas de un reloj como caso característico, pero tienes casos tan cercanos como los taladros, las lavadoras o las ruedas de coches, bicicletas o de cualquier otro tipo de móvil. También se utiliza a escala microscópica en el modelo de Bohr para describir el movimiento de los electrones alrededor del núcleo de los átomos, como ya has visto, y a escala planetaria en relación con el giro de la Luna alrededor de la Tierra y de los planetas alrededor del Sol.

En la pista de pruebas

Hay un caso de pista circular particularmente llamativo en Nardó, localidad situada en el tacón de la bota que forma la península italiana. Se trata de una pista de pruebas para vehículos en la que se han batido récords de velocidad, superándose los 400 km/h.

Las imágenes vía satélite que facilita la NASA resultan espectaculares. Fíjate en que la pista se observa con toda nitidez gracias a sus 12,5 km de longitud y a que sus muros exteriores tienen 3 metros de altura.



La trayectoria seguida por un móvil que lleva mcu es circular, y mantiene una distancia constante al eje de giro, que es precisamente el radio de la circunferencia que traza al moverse.

Puede que te plantees preguntas tales como el radio que tiene la pista, para hacerte una idea de su tamaño, o el tiempo que le cuesta a un automóvil dar una vuelta completa si circula a 300 km/h.

A pesar de no haber entrado todavía en el mcu, puedes responder esas cuestiones utilizando los conocimientos que ya tienes.

En primer lugar, como la longitud de la circunferencia es $2\pi r$ y sabes que es 12,5 km, resulta que r es de casi 2 km (1989,4 m exactamente).

En cuanto al tiempo que necesita para dar una vuelta, puedes hacer una sencilla proporción para determinar que en 150 s da una vuelta completa. Al fin y al cabo, en cuanto a espacio recorrido ¿qué más da la forma de la trayectoria? Por tanto, debes razonar exactamente igual que lo hacías en el movimiento rectilíneo.

3.1 La posición de los móviles que giran

¿Cómo puedes saber dónde se encuentra en un momento concreto un móvil que lleva mcu? Si sabes situar un punto en el plano, la tarea es sencilla. Recuerda que el vector de posición se puede expresar en función de sus componentes cartesianas.

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j}$$

En este caso, el móvil se mantiene siempre a una distancia r del centro de giro, precisamente el radio de la circunferencia que traza. Pero habitualmente interesa situar la posición del móvil sobre la trayectoria seguida, y resulta más sencillo indicar el ángulo girado (ϕ).

En geometría se toma como ángulo cero la posición $(r,0)$; es decir, sobre el eje x , a r metros del centro.

Utilizando la trigonometría elemental puedes expresar las coordenadas cartesianas en función del radio y del ángulo ϕ con respecto al eje x , llamadas coordenadas polares.

Componentes del vector de posición en coordenadas polares

$$x = r \cos \varphi$$

$$y = r \operatorname{sen} \varphi$$

Coordenadas polares y coordenadas cartesianas

También puedes expresar las coordenadas polares en función de las cartesianas:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\varphi = \arctan \frac{y}{x}$$

Vas a utilizar expresiones de este tipo no solamente en el movimiento circular uniforme, sino también al estudiar lanzamientos en el plano y al trabajar con fuerzas en planos inclinados.

Medida de los ángulos

Acabas de ver que los ángulos se miden de dos formas, en grados o en radianes, de manera que una vuelta tiene 360° ó 2π radianes.

Recuerda que la longitud de la circunferencia es $2\pi r$, por lo que el radio está contenido 2π veces en la vuelta completa. Y como el **radián** es el ángulo cuyo arco mide exactamente el radio, en una vuelta completa hay 2π radianes.

3.2 Velocidad angular

La velocidad de giro se puede expresar en unidades diferentes: vueltas por minuto (**rpm**, revoluciones por minuto) o por segundo (**rps**), grados por minuto o por segundo, y radianes por segundo (**rad/s**), que es la unidad del Sistema Internacional.

Esta magnitud se llama velocidad angular, y se representa por ω . Se calcula como $\omega = \phi/t$, donde ϕ es el ángulo girado en un tiempo t .



Seguramente, te habrás fijado más de una vez en lo hábiles que son los jugadores de baloncesto haciendo girar a gran velocidad un balón sobre su dedo: consiguen que la ω sea grande, y así el balón permanece girando en equilibrio.

Las ecuaciones del mcv son formalmente iguales a las del mru, pero indicando magnitudes angulares en lugar de lineales. Se denomina ϕ_0 al ángulo inicial que ocupa el móvil respecto del ángulo cero (el eje de la X).

Ecuaciones del movimiento circular uniforme

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

$$\omega = \omega_0$$

$$\vec{r} = r \cos(\varphi_0 + \omega t) \vec{i} + r \operatorname{sen}(\varphi_0 + \omega t) \vec{j}$$

3.3 Magnitudes lineales y angulares

Hay un caso de mcu que tiene un interés especial: se trata de aquellos mecanismos en los que el mcu se transforma en movimiento lineal. Es decir, automóviles, tractores, bicicletas, etcétera, en los que el giro de las ruedas apoyadas sobre el suelo hace que el móvil avance o retroceda.

¿Cómo puedes determinar la velocidad lineal del móvil si sabes la velocidad angular de sus ruedas? ¿Y el espacio recorrido a partir del ángulo girado? Para ello, es necesario establecer la relación existente entre magnitudes lineales y angulares.



Esta relación que acabas de comprobar se puede escribir como $s = \varphi r$. Pero como el movimiento es circular uniforme, al dividir por el tiempo los dos lados de la igualdad tenemos que:

$$s = \varphi r \quad \frac{s}{t} = \frac{\varphi}{t} r \quad v = \omega r$$

Fíjate en que la velocidad lineal v es igual a la velocidad angular ω por el radio r .

Relación entre las magnitudes lineales y angulares

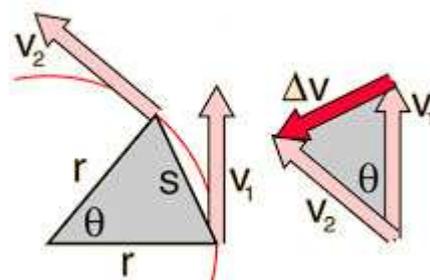
Las magnitudes lineales se calculan multiplicando la magnitud angular correspondiente (con los ángulos medidos en radianes) por el radio.

$$s = \varphi r \quad v = \omega r$$

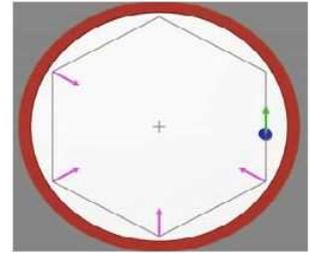
3.4 Aceleración centrípeta

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 la 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 . Es decir, la aceleración depende de la rapidez del giro y del radio de curvatura, pero ¿cuál es la relación existente entre esas magnitudes?

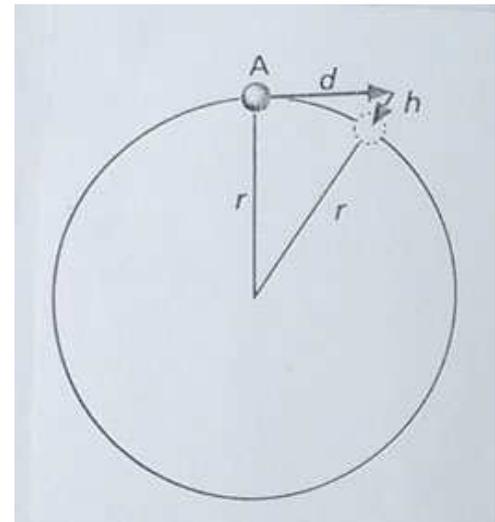
Fíjate en la imagen. Vamos a suponer que el movimiento de giro desde el punto A es una sucesión de un movimiento tangente a la trayectoria a velocidad constante recorriendo d metros, seguido de otro acelerado en la dirección del centro de curvatura (el radio en movimientos circulares), recorriendo h metros. El tiempo invertido en ambos movimientos que en realidad son simultáneos es de Δt segundos. Las ecuaciones de los dos movimientos son:

$$d = v \Delta t \quad h = \frac{1}{2} a_c (\Delta t)^2$$

Eliminando Δt en las ecuaciones anteriores resulta que:

$$a_c = \frac{v^2 2h}{d^2}$$

Observando la figura, puedes ver que $(r+h)^2 = r^2 + d^2$ (aplicando el teorema de Pitágoras) y desarrollando y despejando resulta que $d^2 = h^2 + 2rh$. Pero si consideramos un intervalo de tiempo Δt muy pequeño para que el movimiento se aproxime al real, h será mucho menor que el radio r , por lo que h^2 será muy pequeño frente a $2rh$ y se puede despreciar. Por tanto, es posible aproximar d^2 a $2rh$. Esta aproximación será tanto mejor cuanto menor sea Δt , y cuando Δt tienda a cero se puede igualar d^2 a $2rh$. Sustituyendo y despejando:



$$a_c = \frac{v^2 2h}{d^2} = \frac{v^2 2h}{2rh} = \frac{v^2}{r}$$

Aceleración centrípeta

Es un vector dirigido hacia el centro de curvatura de la trayectoria y tiene como módulo v^2/r (la rapidez de giro al cuadrado dividida por el radio de curvatura).

3.5 Movimientos periódicos

El movimiento circular uniforme es un caso particular de movimiento periódico, que se caracteriza porque los móviles ocupan la misma posición en intervalos de tiempo iguales.

Fíjate en las aspas de los molinos de viento. Cuando giran con mcu, al cabo de un tiempo determinado vuelven a pasar por la misma posición: se trata de un movimiento periódico. Ese tiempo es menor cuanto más deprisa giren.



Lo mismo sucede con la bola que cuelga del muelle y oscila de forma periódica. Su movimiento es muy característico, y recibe el nombre de movimiento armónico simple.

La frecuencia y el periodo

No tienes más que pensar en un carrusel que da vueltas para que resulte evidente que cuanto más deprisa gira, más vueltas da por unidad de tiempo y menos tiempo le cuesta dar una vuelta.



Se definen dos magnitudes que caracterizan los movimientos periódicos:

- la frecuencia **f**, que es el número de veces que se repite el ciclo completo de movimiento por unidad de tiempo (en el mcu, las vueltas giradas por segundo). Se mide en ciclos por segundo, unidad llamada hertzio, Hz.
- el periodo **T**, que es el tiempo necesario para que se realice un ciclo completo (en el mcu, para dar una vuelta). Se mide en segundos (s).

¿Cómo están relacionados frecuencia y periodo?

Si la frecuencia de un mcu es de 2 Hz, significa que da dos vueltas en cada segundo. Por tanto, le cuesta medio segundo dar una vuelta, por lo que el periodo es de 0,5 s. Si te fijas, observarás que 0,5 es el inverso de 2.

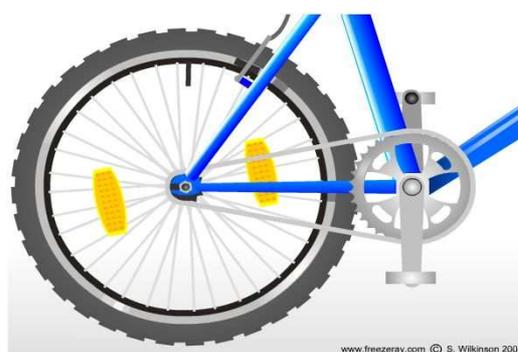
Relación entre la frecuencia y el periodo

La frecuencia y el periodo son dos magnitudes inversas, relacionadas como $f=1/T$ ó $T=1/f$.

3.6 Aplicaciones

Bicicletas

En las bicicletas se ve muy bien cómo el movimiento circular de las ruedas se transforma en desplazamiento lineal de la máquina. El ciclista pedalea y el movimiento circular de los pedales hace girar el plato, transmitiéndose el giro al piñón mediante una cadena, con lo que se consigue que gire la rueda trasera.



Tanto el plato como el piñón son dos ruedas dentadas, de forma que según cuál sea la relación de dientes entre ambas se modifica la relación de vueltas giradas por las ruedas por cada giro completo de los pedales. Habitualmente hay más de un plato y de un piñón: con el cambio de marchas se pasa de uno a otro.

Observa en la simulación cómo al pulsar sobre el pedal y, sin soltarlo, hacer girar los pedales una vuelta, la rueda trasera de la bicicleta da tres vueltas (es decir, la relación es de 3 a 1), con lo que con un giro completo de pedales -dos pedaladas, una con cada pierna- se avanza el equivalente a tres giros de las ruedas.

Esa relación depende del número de dientes del plato y del piñón unidos por la cadena. En el caso de la simulación que acabas de ver, el plato tiene el triple de dientes que el piñón. ¡Reflexiona!

Además, hay que tener en cuenta que cuanto mayor es el tamaño de las ruedas, la bicicleta avanza más por cada giro que realizan cuando el ciclista pedalea.

Satélites geoestacionarios

Los satélites que se envían al espacio tienen funciones de toma de datos y fotografías con fines muy diversos, desde meteorológicos hasta militares, y también como transmisores de señales en telecomunicaciones.



Se encuentran orbitando alrededor de la Tierra a una distancia fija, manteniendo un movimiento circular uniforme. Algunos de ellos siempre se encuentran situados sobre el mismo punto de la Tierra, y se llaman geoestacionarios, mientras que otros pasan varias veces al día sobre el mismo sitio.

El más conocido de los satélites geoestacionarios es el Meteosat, que orbita a 35800 km situado sobre el cruce del meridiano 0 de Greenwich, que atraviesa los Pirineos, y la línea ecuatorial de la Tierra. Desde él se toman imágenes cada media hora, en las que se ve muy bien España, y son las fotografías que podemos ver en las predicciones del tiempo.

Aunque su velocidad angular es muy pequeña (1 vuelta al día, que son $7,3 \cdot 10^{-5}$ rad/s), se mueve realmente muy deprisa, ya que su radio de giro es de 42200 km (6400 km del radio de la Tierra más 35800 km de altura de giro sobre la Tierra), con lo que su velocidad es de 3080,6 m/s, que equivalen a ¡11090 km/h!

Son suficientes tres satélites geoestacionarios, colocados formando un ángulo de 120 grados cada uno con respecto a los otros dos, para cubrir todo el globo y asegurar un sistema de comunicaciones mundial. Dibuja un triángulo equilátero y una circunferencia centrada dentro de él, que representa a la Tierra, de forma que en los vértices están los tres satélites de comunicaciones. Si un satélite recibe información que quiere enviar a las antípodas, no puede transmitirla directamente, ya que no "ve" en línea recta el punto de recepción. Por esa razón la pasa previamente a uno de los otros dos satélites, que es el que envía la señal a tierra. No tienes mas que hacer el dibujo para comprobarlo.

4. Composición de movimientos

En tu vida ordinaria observas gran cantidad de movimientos y muchos de ellos se producen en un plano. El salto de un niño, el lanzamiento de un objeto, una barca en un río, un avión en el aire, cualquier balón o pelota que lanza para alcanzar un objetivo y un proyectil, son ejemplos de movimientos en dos dimensiones (el plano).

El movimiento más importante que vas a estudiar es el movimiento parabólico, que se produce cuando un objeto se mueve en las proximidades de la superficie terrestre con la aceleración de la gravedad. Grandes pensadores y científicos, como Aristóteles o Galileo Galilei, se ocuparon de este movimiento y escribieron tratados sobre los problemas de caída y tiro.

Ya has visto que la posición de un móvil depende del sistema de referencia elegido. El caso estudiado es la caída de una pelota desde lo alto de un mástil de un barco que avanza con movimiento uniforme y que impacta en la base del mástil: según el sistema de referencia la trayectoria es rectilínea o parabólica.



Galileo(1564-1642) explicó, mediante el estudio del movimiento de proyectiles, por qué la pelota cae en la base del mástil y no se queda atrás, como se creía hasta entonces: el movimiento de la pelota para el observador que se mueve con el velero es de caída libre, sin embargo para la observadora que está en la orilla es un movimiento parabólico (la trayectoria es una parábola), que puede considerarse como la superposición de un movimiento rectilíneo uniforme sobre la horizontal y de un movimiento de caída libre en la dirección vertical.

Principio de independencia de Galileo

Cuando un cuerpo está sometido a dos movimientos simultáneos, su cambio de posición es independiente del hecho de que los dos movimientos se produzcan sucesiva o simultáneamente.

De acuerdo con el Principio de Independencia de Galileo, el problema del movimiento en dos dimensiones se reduce a dos problemas de movimientos rectilíneos simultáneos unidos por la variable tiempo.

El principio de superposición

Existen muchas situaciones (cruzar un río, lanzar un balón a canasta, lanzar una jabalina, chutar a puerta, realizar un salto, disparar un proyectil), que pueden explicarse como combinación de varios movimientos. Todos estos casos se resuelven aplicando el Principio de Superposición, una consecuencia del Principio de Independencia de Galileo.

Principio de superposición

Cuando un cuerpo está sometido a varios movimientos independientes simultáneamente, el movimiento total se obtiene sumando vectorialmente dichos movimientos parciales.

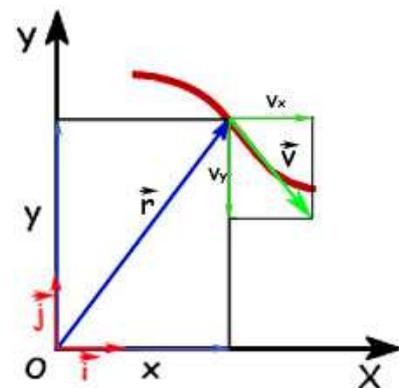
Ecuaciones vectoriales del movimiento

La posición, la velocidad y la aceleración del movimiento resultante es la suma de las posiciones, velocidades y aceleraciones de cada uno de los movimientos independientes.

En dos dimensiones son dos las coordenadas de posición que varían, ya que la posición del móvil queda definida por el vector:

$$\vec{r} = \vec{x} + \vec{y} = x\vec{i} + y\vec{j}$$

donde pueden variar las posiciones en los dos ejes, x e y.



La posición, la velocidad y la aceleración están representadas por vectores y las componentes de cada vector en una dirección dada (x o y), cumplen las ecuaciones estudiadas en el caso del movimiento rectilíneo, uniforme o acelerado.

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y = v_x\vec{i} + v_y\vec{j}$$

$$\vec{a} = \vec{a}_x + \vec{a}_y = a_x\vec{i} + a_y\vec{j}$$

4.1 Movimientos en el plano con velocidad constante

Movimientos en el plano con velocidad constante

Una lancha que debe cruzar un río o un avión que encuentra vientos laterales son ejemplos de movimientos que se producen con velocidad constante en el plano.

En estos casos se conoce la velocidad de un cuerpo con respecto a un sistema de referencia móvil y la velocidad de este sistema de referencia con relación a otro fijo. Por ejemplo, una lancha en un río se está moviendo con respecto al agua y el agua se está moviendo con respecto a un observador en la orilla.

La ecuación vectorial de la velocidad vendrá dada por:

$$\vec{v} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j}$$

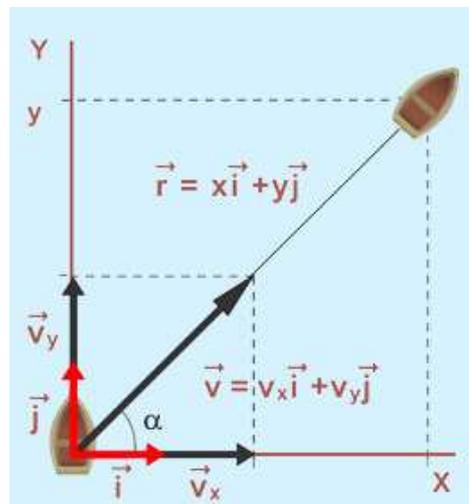
donde v_x y v_y son constantes. Su módulo será:

$$|\vec{v}| = v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

Si consideras que en el instante inicial ($t = 0$) la posición del móvil es:

$$\vec{r}_0 = x_0\vec{i} + y_0\vec{j}$$

La ecuación del movimiento, si tienes en cuenta que el movimiento en el eje X y el movimiento en el eje Y son uniformes, podrás escribirla:



$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} = (x_0 + v_x t)\vec{i} + (y_0 + v_y t)\vec{j}$$

o agrupando términos:

$$\vec{r} = (x_0\vec{i} + y_0\vec{j}) + (v_x t\vec{i} + v_y t\vec{j}) = (x_0\vec{i} + y_0\vec{j}) + (v_x\vec{i} + v_y\vec{j})t = \vec{r}_0 + \vec{v}t$$

Si la posición inicial es $\vec{r}_0 = 0$, nos queda:

$$\vec{r} = v_x t\vec{i} + v_y t\vec{j}$$

y en componentes:

$$x = v_x t \qquad y = v_y t$$

5. Movimientos de proyectiles

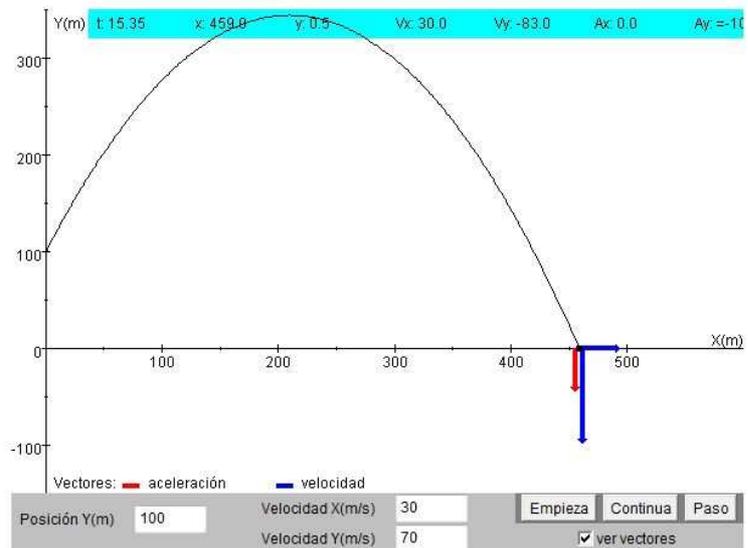
Un proyectil es un cuerpo que se mueve en las proximidades de la superficie terrestre, donde sabes que todos los cuerpos caen con una aceleración constante g , la aceleración de la gravedad.

Galileo observó que la trayectoria de un proyectil es una parábola y, por tanto, aunque se descomponga en dos movimientos para estudiarlo, el movimiento real es parabólico. Precisamente formuló su Principio de Independencia estudiando el movimiento de proyectiles.

En la simulación se representa el vector de posición de un proyectil cada segundo. Fíjate en que este vector siempre está en el plano de la figura.

Se representa también el vector desplazamiento en un segundo. La velocidad media en ese segundo es un vector que coincide con el desplazamiento.

En la simulación siguiente puedes ver cómo se modifican las velocidades horizontal y vertical con la opción ver vectores activada. En la parte superior se indica como varían la posición, la velocidad y la aceleración.



En el movimiento de proyectiles

De acuerdo con el Principio de Independencia, puedes considerar el movimiento del proyectil como una combinación de un movimiento horizontal uniforme y de un movimiento vertical uniformemente acelerado.

5.1 Lanzamiento horizontal

Un caso particular de lanzamiento de proyectiles es el que se produce cuando la velocidad inicial \vec{v}_0 sólo tiene componente en el eje X:

$$\vec{v}_0 = v_{0x} \vec{i} = v_0 \vec{i}$$

La velocidad en cualquier instante, dado que la aceleración es la de la gravedad, $a_y = -g$, será:

$$\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} = \vec{v}_0 + a_y t \vec{j} = v_0 \vec{i} - gt \vec{j}$$

En este caso la ecuación de la posición es:

$$\vec{r} = x \vec{i} + y \vec{j} = (x_0 + v_0 t) \vec{i} + (y_0 - \frac{1}{2} g t^2) \vec{j}$$

Puedes encontrar la ecuación de la trayectoria eliminando el tiempo entre las ecuaciones de las componentes del vector de posición:

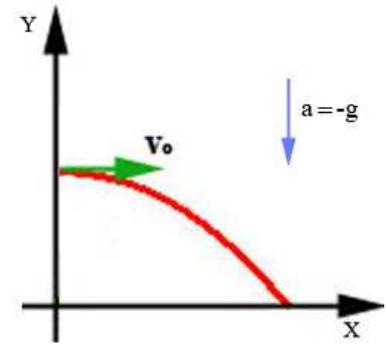
$$x = x_0 + v_0 t$$

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

y, considerando $x_0 = 0$, queda:

$$y = y_0 - \frac{1}{2} \frac{g}{v_0^2} x^2$$

que es la ecuación de segundo grado que representa la ecuación de una parábola.



5.2 Lanzamiento oblicuo

También puedes aplicar el Principio de Superposición en el lanzamiento de un proyectil con una velocidad inicial que forma un ángulo α con la horizontal.

Velocidad en el lanzamiento oblicuo

Si consideras que en el instante inicial ($t = 0$) la posición del móvil y su velocidad son:

$$\vec{r} = x \vec{i} + y \vec{j}$$

$$\vec{v}_0 = v_{0x} \vec{i} + v_{0y} \vec{j}$$

Si tienes en cuenta que se suele disponer del módulo de la velocidad inicial y del ángulo que forma con la horizontal:

$$\vec{v}_0 = v_{0x} \vec{i} + v_{0y} \vec{j} = v_0 \cos \alpha \vec{i} + v_0 \operatorname{sen} \alpha \vec{j}$$

Puedes obtener la velocidad en cualquier instante, recordando el movimiento rectilíneo y teniendo en cuenta que la aceleración es la de la gravedad ($-g$ al ir hacia abajo):

$$\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} = v_0 \cos \alpha \vec{i} + (v_0 \operatorname{sen} \alpha - gt) \vec{j}$$

Posición en el lanzamiento oblicuo

Teniendo en cuenta que la aceleración es $-g$, la ecuación de la posición es:

$$\vec{r} = x \vec{i} + y \vec{j} = (x_0 + v_0 t \cos \alpha) \vec{i} + (y_0 + v_0 t \operatorname{sen} \alpha - \frac{1}{2} g t^2) \vec{j}$$

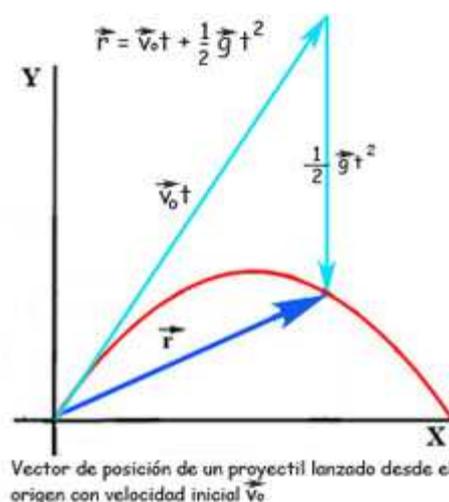
Agrupando los términos en forma vectorial:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{g} t^2$$

Fíjate en que puedes considerar que el cuerpo cambia de posición debido a dos términos: el primero, la velocidad inicial, y el segundo, la acción de la gravedad.

Esto quiere decir que, si no hubiera aceleración gravitatoria, el cuerpo continuaría moviéndose a lo largo de una trayectoria recta en la dirección del vector velocidad inicial.

Por tanto, la distancia vertical, que el cuerpo "cae" desde la línea de la trayectoria recta, es la misma distancia que recorrería un cuerpo que cae libremente durante el mismo tiempo.



Ecuación de la trayectoria

Puedes escribir la ecuación de la trayectoria despejando el tiempo t entre las ecuaciones de las dos componentes del vector de posición:

$$x = x_0 + v_0 t \cos \alpha$$

$$y = y_0 + v_0 t \operatorname{sen} \alpha - \frac{1}{2} g t^2$$

Considerando que $x_0=0$, resulta que:

$$y = y_0 + \tan \alpha x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2$$

que es una ecuación de segundo grado cuya representación gráfica es una parábola. Es decir, el movimiento de los proyectiles es parabólico.

¿Dónde hay que situar el origen del sistema de referencia?

De forma general, en la posición más baja y más a la izquierda que pueda ocupar el móvil, para que todas las posiciones verticales y horizontales sean positivas, de acuerdo con los ejes usados en Matemáticas.

Lanzamientos vertical, horizontal y oblicuo

No debes pensar que son tres situaciones diferentes, que se resuelven con ecuaciones y planteamientos distintos: el caso general es el del lanzamiento oblicuo, que se reduce al vertical si el ángulo de lanzamiento es de 90° (hacia arriba) o de -90° (hacia abajo), y al horizontal si el ángulo es de 0° (hacia la derecha) o de 180° (hacia la izquierda).

5.3 Magnitudes de interés

Al analizar el lanzamiento oblicuo de un proyectil, resulta de gran interés conocer las siguientes magnitudes:

- el tiempo de vuelo, t_v ,
- la altura máxima que alcanza, y_m ,
- el ángulo de lanzamiento para un alcance horizontal máximo, x_m .



Tiempo de vuelo

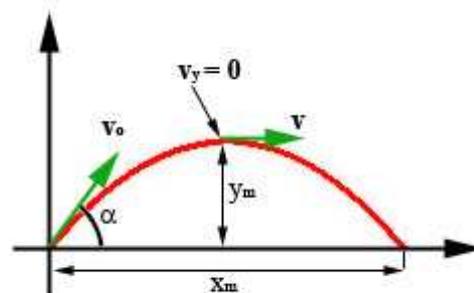
Si eliges el origen del sistema de referencia tal que $x_0 = 0$ e $y_0 = 0$, puedes calcular el tiempo que el proyectil permanece en el aire hasta llegar al suelo, que se suele llamar tiempo de vuelo, t_v .

Como la trayectoria es simétrica puedes calcular el tiempo necesario para llegar al punto más alto y multiplicarlo por dos.

En este punto la componente vertical de la velocidad se anula, $v_y = 0$, y despejando t queda:

$$v_y = v_0 \operatorname{sen} \alpha - gt = 0$$

$$t_v = \frac{2v_0 \operatorname{sen} \alpha}{g}$$



Altura máxima

Como acabas de ver, el tiempo necesario para que el proyectil llegue al punto más alto es $(v_0 \operatorname{sen} \alpha / g)$ y el valor de la altura máxima lo calcularás sustituyendo ese valor en la ecuación de la posición y :

$$y_m = v_0 t \operatorname{sen} \alpha - \frac{1}{2} g t^2 = v_0 \frac{v_0 \operatorname{sen} \alpha}{g} - \frac{1}{2} g \left(\frac{v_0 \operatorname{sen} \alpha}{g} \right)^2 = \frac{v_0^2 \operatorname{sen}^2 \alpha}{2g}$$

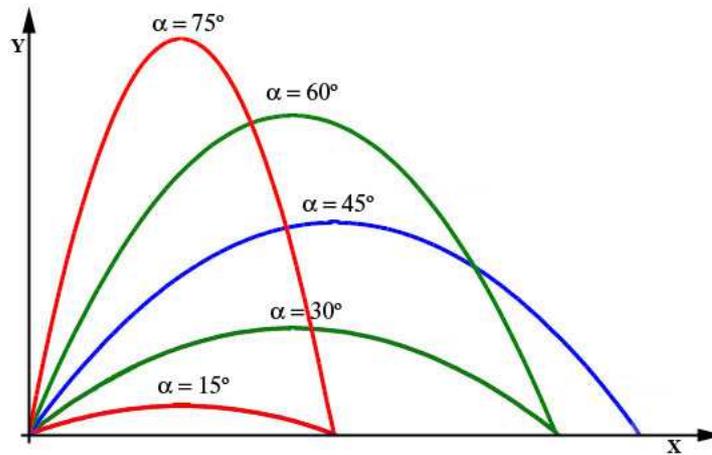
Alcance máximo

Como el tiempo de vuelo es el necesario para llegar al suelo, si sustituyes ese tiempo en la ecuación de la posición x obtienes que:

$$x_m = \frac{v_0^2 \operatorname{sen} 2\alpha}{g}$$

El valor máximo de alcance se da cuando $\sin 2\alpha = 1$, igualdad que se cumple para un ángulo de 45° .

Observa también que la altura máxima se alcanza en el lanzamiento vertical.



Fórmulas en los lanzamientos

No hay que memorizar las fórmulas anteriores, ya que si en una situación dada hay que determinar cualquiera de ellas, se calcula sustituyendo en las ecuaciones generales del movimiento de que se trate.

Tema 5. Dinámica

En la antigua Grecia, Aristóteles distinguía entre el mundo celeste, en el que el movimiento era perfecto, uniforme y sin fin, y el mundo terrestre, en el que el estado natural de los cuerpos era el reposo.

Los movimientos terrestres eran violentos, si los cuerpos ese sacaban de su lugar natural por contacto con otros cuerpos, o naturales, si el cuerpo trataba de recuperar su lugar cuando cesa el contacto con otros cuerpos (el humo ascendía y las piedras caían).



Los movimientos violentos eran consecuencia de fuerzas que tiraban (un buey de una carreta) o empujaban (el viento a la vela del barco).

Galileo Galilei (1564-1642), midiendo todo lo que observaba, estableció que no era necesaria la intervención de otro cuerpo para mantener el movimiento del primero. Por tanto, 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.

En este tema vas a profundizar en la utilización de las fuerzas para resolver problemas dinámicos en casos de particular interés: cuando hay cuerpos enlazados, si hay fuerzas que tienen componentes en los ejes coordenados, cuando se producen choques y en movimientos en trayectorias curvilíneas, además de tener en cuenta la presencia de fuerzas gravitatorias y de fuerzas eléctricas.

1. Fuerzas

Cuando empujas un cuerpo, golpeas una pelota o estiras un muelle estás interactuando con el cuerpo, la pelota o el muelle. Esta interacción hace que se desplace el cuerpo, cambie su velocidad la pelota o se deforme el muelle.

Para que un cuerpo interactúe es necesario que exista otro cuerpo; es decir, las interacciones tienen un origen material.

Seguro que has visto como un imán atrae a un clavo de hierro o cómo cae un objeto. Las interacciones entre dos cuerpos no sólo se producen por contacto, ya que también se producen a distancia.

Si observas los efectos que produce una interacción, notarás que son distintos según sea la intensidad de la misma, la dirección en que se produce, su sentido y el punto donde se aplica.

Es decir, una interacción debe representarse mediante una magnitud vectorial: las fuerzas son magnitudes vectoriales.

¿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.



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.

Resultante de dos fuerzas

Cuando sobre un cuerpo actúan dos fuerzas, se podrían sustituir por una única fuerza que produzca el mismo efecto que ellas: esa fuerza es su resultante.

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.

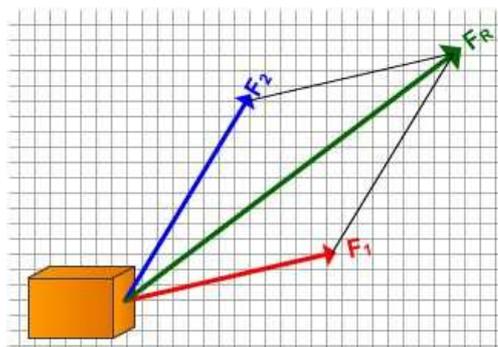
Si son **de la misma dirección y de sentidos contrarios**, la resultante tiene la misma dirección, el sentido de la fuerza mayor magnitud, y su magnitud es la diferencia de las magnitudes de las dos fuerzas.

Si las fuerzas son **perpendiculares** puedes calcular la magnitud de la fuerza resultante utilizando el teorema de Pitágoras.

Fuerzas que forman un ángulo cualquiera

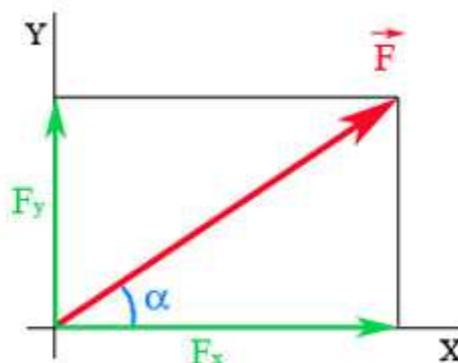
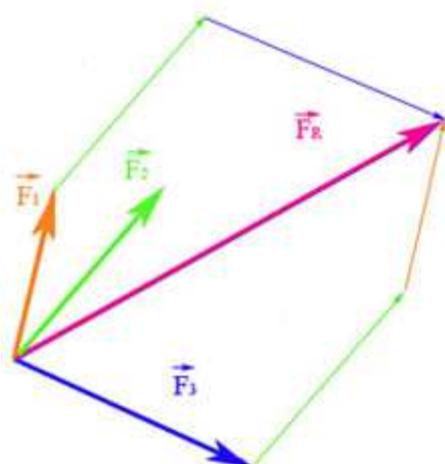
En este caso, puedes calcular el módulo de la fuerza resultante utilizando el teorema del coseno, que es una generalización del teorema de Pitágoras cuando el ángulo es distinto de 90º, y que también es válido cuando el ángulo entre los vectores es 0º (vectores de la misma dirección y sentido) o 180º (vectores de la misma dirección pero sentido contrario).

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha}$$



La resultante de varias fuerzas

Si actúan varias fuerzas (F1, F2, F3, ...), se hace la resultante R1 de F1 y F2, después la resultante de R1 y F3 y así sucesivamente, utilizando la regla del paralelogramo.



Para calcular la fuerza resultante es muy útil descomponer las fuerzas en sus componentes cartesianas rectangulares y obtener las componentes de la resultante sumando las respectivas componentes.

$$\vec{F} = F_x \vec{i} + F_y \vec{j} = F \cos \alpha \vec{i} + F \operatorname{sen} \alpha \vec{j}$$

1.1 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 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 $F = k\Delta x$.



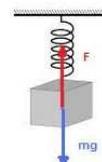
Ten en cuenta que la K tiene un significado distinto en cada caso: en el primero es el alargamiento producido al aplicar al muelle la unidad de fuerza, mientras que en el segundo es la fuerza que hay que aplicar al muelle para producir un alargamiento unidad.

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 hilo 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.



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.

¿Qué masa tiene el cilindro metálico? Fíjate en que el dinamómetro marca entre 1,44 y 1,48 N. La medida puede ser de 1,47 N, por lo que la masa, sustituyendo en $P = mg$ ($1,48 \text{ N} = m \cdot 9,8 \text{ N/kg}$) será de 0,151 kg, es decir, de 151 g.

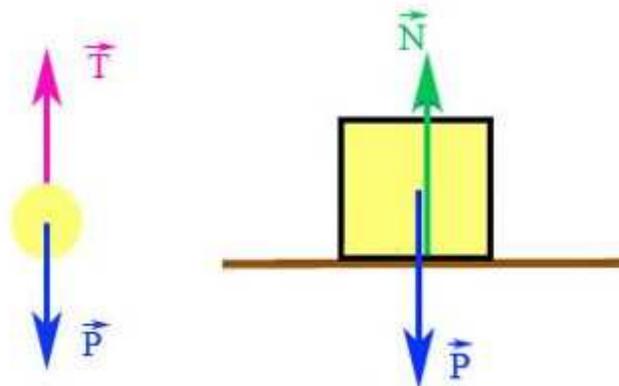
El peso de los cuerpos

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

1.2 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, y 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.

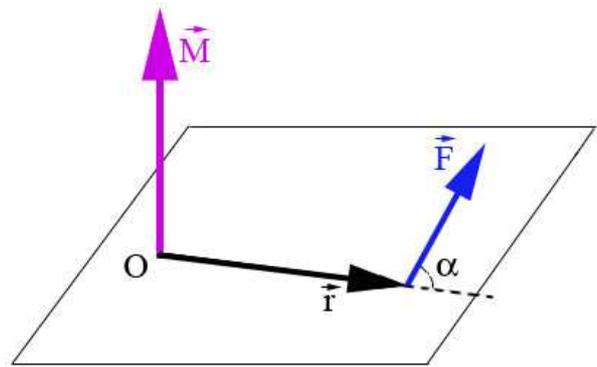
1.3 Momento de una fuerza

Los cuerpos que has considerado hasta ahora podías suponerlos como puntuales. Es decir, las fuerzas que actuaban sobre ellos tenían un punto de aplicación común. Sin embargo, los cuerpos son extensos y, en algunos casos, deberás tener en cuenta el punto de aplicación de cada fuerza que actúe sobre el cuerpo.

Si aplicas una fuerza sobre un cuerpo y lo haces girar, para describir este efecto se utiliza una magnitud llamada **momento de la fuerza**.

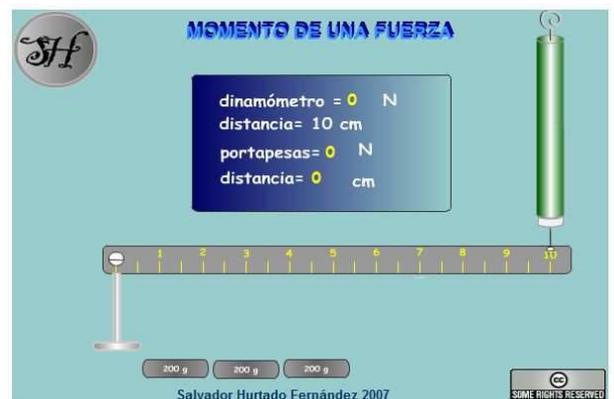
El momento \vec{M} de una fuerza \vec{F} respecto de un punto O es un vector de módulo, $M = F r \text{sen}\alpha$ siendo α el ángulo que forman los vectores \vec{F} y \vec{r} .

La dirección del vector \vec{M} es perpendicular al plano que forman los vectores \vec{F} y \vec{r} y su sentido es positivo si el giro que produce es contrario al de las agujas del reloj y negativo si el giro se produce en el mismo sentido de las agujas del reloj.



En el caso de una puerta, el efecto de giro depende 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. Además, también depende del ángulo de giro entre la fuerza y el vector de posición, y es máximo cuando son perpendiculares (el ángulo es de 90° y su seno es 1).

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 $M=Fd$, teniendo en cuenta el signo del momento de cada fuerza según sea el efecto de giro que produce.

Por ejemplo, ve desplazando la pesa con una carga de 200 g desde la posición 0 a la posición 10 y comprueba que el sumatorio de los momentos es cero: las pesas hacen girar la barra en el sentido de las agujas del reloj y el dinamómetro al revés.

Observa el valor que marca el dinamómetro cuando está en la posición 10: indica 2 N. ¡Justamente el peso de las dos pesas! Se debe a que estar ahí equivale a estar colgando del dinamómetro, que entonces marca su peso.

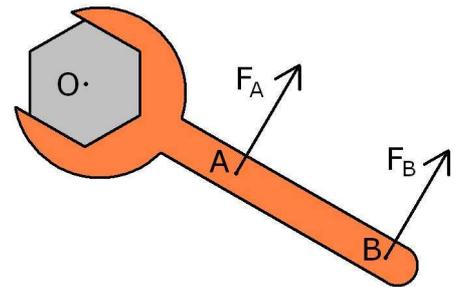
Puedes comprobar los resultados añadiendo una o dos pesas más.

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 $M=Fd$, teniendo en cuenta el signo del momento de cada fuerza según sea el efecto de giro que produce.

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?

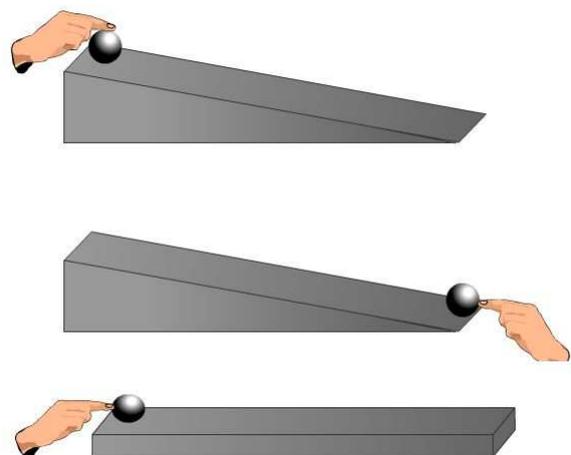
Como el efecto de giro lo mide el momento de la fuerza, que es el producto de su módulo (magnitud) por la distancia al punto de giro, la fuerza aplicada en B producirá un giro mayor, y, por tanto, convendrá **tener llaves inglesas de mango largo**.

2. Leyes de la Dinámica

La experiencia de Galileo y la 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, este llevará el mismo movimiento que llevaba inicialmente (o bien se moverá en línea recta con velocidad constante o bien 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.

Sistemas de referencia inerciales y no inerciales

Para determinar el estado de movimiento de un cuerpo se necesita un sistema de referencia, de forma que el estado de movimiento depende del sistema de referencia elegido.

Cuando viajas en un tren sentado en tu asiento estás en reposo con relación al vagón, pero te mueves con la velocidad del tren respecto de un poste de la catenaria.

En los dos sistemas de referencia se cumple la primera ley de Newton. Los sistemas de referencia en los que se cumple la ley de la inercia se denominan **sistemas de referencia inerciales**.

Un sistema de referencia es inercial cuando está en reposo o se mueve con velocidad constante (movimiento rectilíneo uniforme).

Si subes al autobús urbano, cuando arranca parece que te empujan hacia atrás y cuando frena parece que te empujan hacia delante.

En los casos anteriores observarás que al utilizar como sistema de referencia el autobús urbano, al arrancar y al frenar, aunque nadie te empuja, te vas hacia atrás o hacia adelante, no se cumple la primera ley de Newton. El sistema de referencia es acelerado y se denomina no inercial.

Para un observador situado en el autobús, es como si una fuerza te empujase. Esta fuerza no es real ya que no es consecuencia de una interacción, es una fuerza ficticia que se denomina **fuerza de inercia**.

2.1 Ley fundamental

Las fuerzas producen aceleración en los objetos. Si el movimiento es rectilíneo, el efecto es un cambio del módulo de la velocidad: el objeto se mueve más deprisa (acelera) o más despacio (decelera).

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.

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

2.2 Principio de acción y reacción

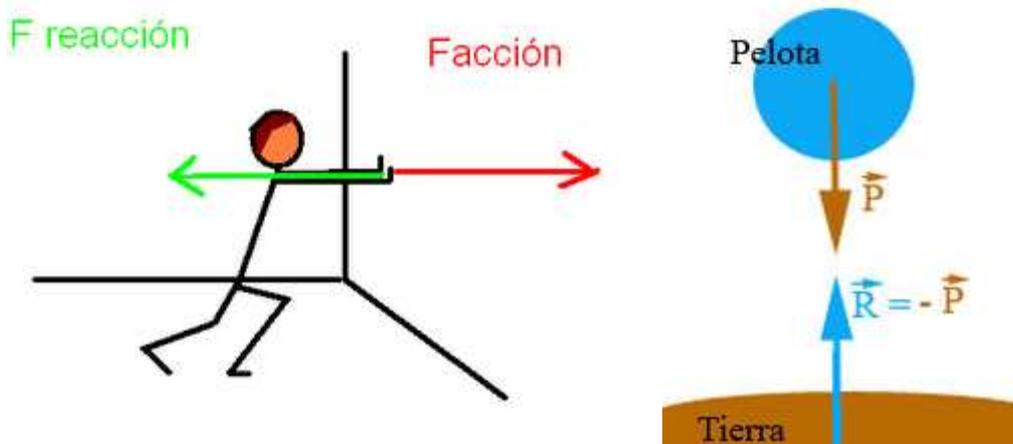
Cuando golpeas una mesa con el puño o la palma de la mano, sientes dolor. ¡Pero eres tú quien ha dado el golpe a la mesa! ¿Por qué te duele la mano? Además, el dolor será más intenso cuanto mayor sea la intensidad del golpe que hayas dado.

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 A ejerce una fuerza sobre otro B, éste ejerce una fuerza sobre el primero de la misma intensidad y dirección pero de sentido opuesto ($F_{AB} = - F_{BA}$).

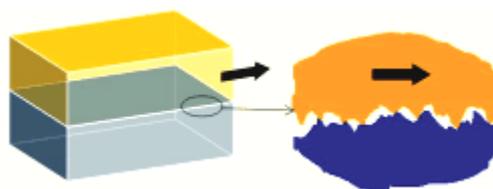
2.3 Fuerzas de rozamiento

¿Por qué hay 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.

En las tres simulaciones siguientes puedes observar la diferencia entre dos superficies con mucho rozamiento, con poco rozamiento y sin rozamiento.



La fuerza de rozamiento

Por fuerza de rozamiento se entiende toda fuerza que se opone al movimiento de un objeto debido a las interacciones entre las superficies de contacto y/o el medio en el que se desplaza.

Características de las fuerzas de rozamiento

Las fuerzas de rozamiento actúan siempre en sentido contrario al de la velocidad con que se mueve el objeto, pero esto no quiere decir que un cuerpo en reposo no las sufran, sino que no se manifiestan hasta que alguna fuerza provoque el movimiento.

Al realizar un estudio experimental de una fuerza de rozamiento, se encuentran las siguientes características:

- Toda fuerza de rozamiento tiene la dirección de la superficie de contacto y sentido contrario al movimiento.
- El valor de su módulo toma valores desde cero hasta un valor máximo, que coincide con la fuerza mínima para iniciar el movimiento.
- Una vez ha comenzado el movimiento, el valor del módulo disminuye hasta un valor determinado que permanece constante mientras el cuerpo siga moviéndose.

- La fuerza de rozamiento no depende del área de contacto entre superficies.
- La fuerza de rozamiento es perpendicular a la fuerza Normal.

De estos resultados podemos deducir la existencia de una constante de proporcionalidad entre fuerza de rozamiento y la Normal, que denominaremos **coeficiente de rozamiento** y representaremos por la letra griega μ . Además, existen dos tipos de fuerza de rozamiento:

- Fuerza de rozamiento estático, que actúa sobre los cuerpos en reposo, caracterizada por el coeficiente de rozamiento estático μ_{es} .
- Fuerza de rozamiento dinámico, que actúa sobre los cuerpos en movimiento, caracterizada por el coeficiente de rozamiento dinámico μ_{di} .

Rozamientos estático y dinámico

El valor de la la fuerza de rozamiento es:

- Fuerza de rozamiento estático: $F_{Res} = \mu_{es} \cdot N$
- Fuerza de rozamiento dinámico: $F_{Rdi} = \mu^{di} \cdot N$

Se cumple que para un mismo par de superficies: $\mu_{es} > \mu_{di}$

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.

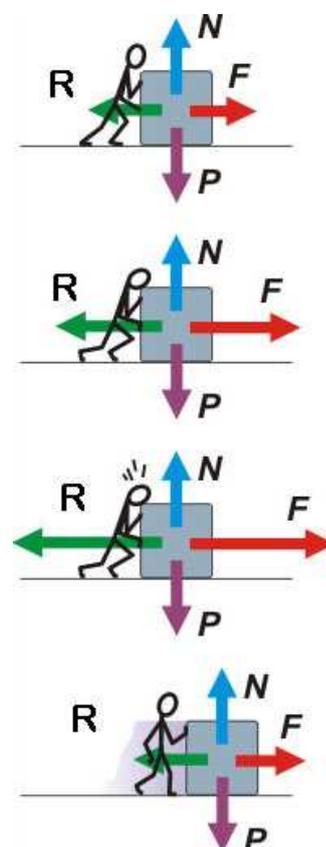
En la dirección vertical actúan el peso, realizado por la Tierra, y la normal, que realiza la superficie de apoyo. Como son iguales y de sentido contrario, el objeto no experimenta cambio de velocidad vertical y sigue en contacto con la superficie.

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.**

La normal y el rozamiento

Para que haya rozamiento entre dos superficies deben estar en contacto e interaccionando entre ellas. 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.

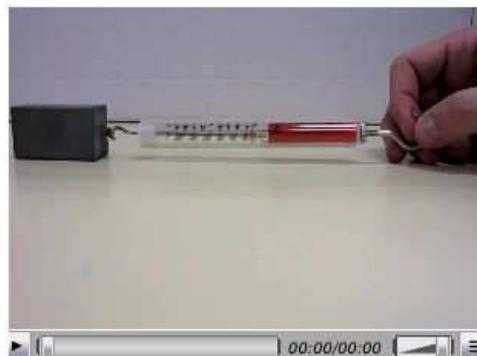
Dinámica del rozamiento

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. En un plano horizontal tiene la expresión:

$$F - \mu mg = ma$$

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, pero ya verás más adelante lo que sucede en planos inclinados.

Observa el vídeo siguiente: 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).



3. Momento lineal

¿Por qué es más difícil detener a un camión que a una mosca si se mueven a la misma velocidad? ¿Por qué es más doloroso caer sobre una superficie de cemento que sobre una alfombra? ¿Qué ocurre cuando chocan dos bolas de billar? ¿Cómo actúa el airbag de un coche?



Al golpear una pelota con una raqueta, un palo de golf o un bate de béisbol, experimenta un cambio muy grande en su velocidad en un tiempo muy pequeño.

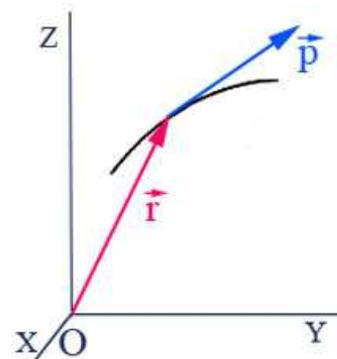
Todos estos hechos tienen en común la magnitud **cantidad de movimiento** o **momento lineal**. Esta magnitud combina la inercia y el movimiento, o lo que es lo mismo, la masa y la velocidad.

Habrás observado que todo cuerpo en movimiento ejerce una fuerza sobre ti cuando lo intentas detener. Cuanto mayor es la velocidad con que se mueve, más difícil es pararlo y cuanto más masa tiene, más difícil es también detenerlo. Si has jugado alguna vez a rugby habrás notado que la afirmación anterior es cierta.



Newton llamó cantidad de movimiento de un cuerpo a la magnitud que caracteriza el estado de movimiento del cuerpo. La cantidad de movimiento o momento lineal así definido es un vector de módulo $m \cdot v$, dirección tangente a la trayectoria y sentido el del movimiento. La unidad de cantidad de movimiento en el S.I. es el $\text{kg} \cdot \text{m/s}$.

Un cuerpo puede tener una gran cantidad de movimiento si tiene una masa muy grande o si se mueve a gran velocidad.



Concepto de momento lineal o cantidad de movimiento

Se define la cantidad de movimiento o momento lineal, \vec{p} , de un cuerpo, como el producto de su masa por la velocidad con que se mueve, por lo que $\vec{p} = m\vec{v}$.

Impulso mecánico

En más de una ocasión habrás visto como sale acelerando "a tope" un coche en un Gran Premio de Fórmula 1. Si mantiene la acción (fuerza) durante más tiempo, adquiere mayor velocidad y puede colocarse en cabeza.

El efecto que produce una fuerza que actúa sobre un cuerpo depende del tiempo que está actuando. Para medir este efecto se define la magnitud impulso mecánico.



Concepto de impulso mecánico

El impulso mecánico se define como el producto de la fuerza por el intervalo de tiempo que ésta actúa.

$$\vec{I} = \vec{F}\Delta t$$

3.1 Teorema del impulso mecánico

El impulso mecánico es consecuencia de una fuerza que actúa sobre un cuerpo y que modifica su estado de movimiento, por lo que las dos magnitudes están relacionadas.

$$\sum \vec{F}_i = m\vec{a} = m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

Es decir, la variación del momento lineal o cantidad de movimiento de un cuerpo en la unidad de tiempo mide la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo. Este enunciado es otra forma de expresar la segunda ley de Newton y así fue formulada por él.

La segunda ley de Newton expresada en función de la cantidad de movimiento tiene una validez más general, ya que se puede aplicar cuando la masa varía, como en el caso de un vagón de ferrocarril que recibe agua de lluvia o de un cohete que asciende.

Teorema del impulso mecánico

$$\sum \vec{F}_i \Delta t = \Delta \vec{p}$$

El impulso mecánico de la fuerza resultante es igual a la variación del momento lineal.

El teorema del impulso tiene una gran importancia en aplicaciones de la vida diaria.

Seguramente habrás visto que los saltadores de altura o pértiga siempre caen sobre una colchoneta. Tú mismo, al saltar desde un lugar un poco elevado, doblas las rodillas al tocar el suelo.

En estos casos se intenta que el impulso necesario para detener a la persona se obtenga en un tiempo mayor, con lo que la fuerza que deberá soportar su estructura corporal será menor y, por lo tanto, será más difícil lesionarse.

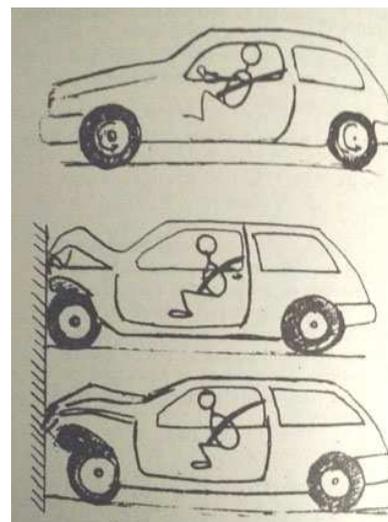


La seguridad en los automóviles

Existen dos sistemas de seguridad en el automóvil relacionados con el impulso que recibe una persona que viaja en un coche y sufre un accidente.

Mediante **los cinturones de seguridad** las personas reducen la velocidad mientras el vehículo lo hace, con lo que paran en un tiempo mayor. Esto hace que la fuerza (el impacto) sea menor y los huesos más fuertes del cuerpo puedan aguantar mientras se destruye la carrocería. Sin el cinturón la cabeza choca contra el parabrisas o la columna de dirección en un tiempo muy pequeño.

En un impacto lo suficientemente importante (un golpe contra un objeto indeformable a 18 km/h o una deceleración de 3g, o 29,4 m/s²), **los airbags** se inflan con gran rapidez por la acción del gas que se desprende en una reacción química, de manera que distribuyen la fuerza del impacto más equitativamente por todo el cuerpo, deteniendo al pasajero gradualmente.



3.2 Conservación del momento lineal

De acuerdo con el teorema del impulso mecánico,

$$\sum \vec{F}_i \Delta t = \Delta \vec{p}$$

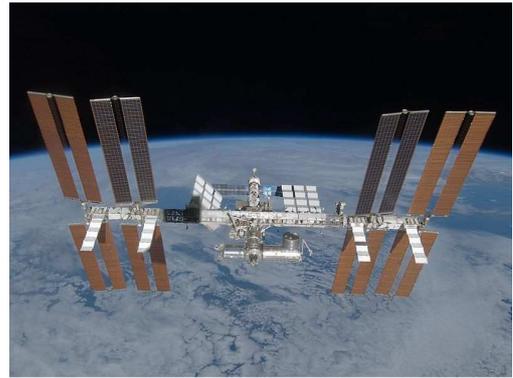
Si la fuerza total que actúa sobre un objeto es nula, no variará su cantidad de movimiento.

$$\sum \vec{F}_i = 0 \Rightarrow \Delta \vec{p} = \vec{0} \Rightarrow \vec{p} = cte$$

La conservación de la cantidad de movimiento de un cuerpo equivale al Principio de inercia: si la resultante de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo es nula, su momento lineal o cantidad de movimiento es constante y si la masa del cuerpo es constante, su velocidad también lo es.

$$\vec{p} = cte \Rightarrow m\vec{v} = cte \Rightarrow \vec{v} = cte$$

Si la fuerza que mantiene en órbita a la Estación Espacial Internacional desapareciera, la estación se movería con velocidad constante (movimiento rectilíneo uniforme).



Generalización a un sistema de partículas

Un sistema de partículas es un conjunto de cuerpos o partículas del que queremos estudiar su movimiento.

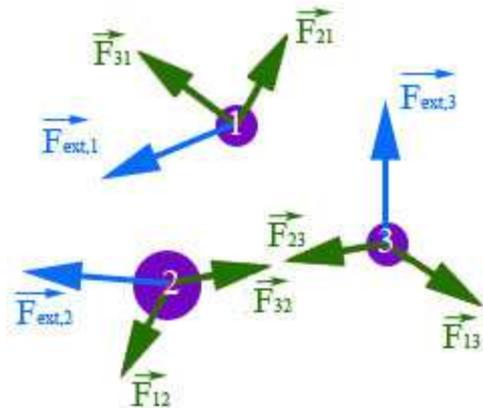
La cantidad de movimiento o momento lineal de un sistema de partículas se define como la suma de las cantidades de movimiento de cada una de las partículas que lo forman:

$$\vec{p} = \sum p_i = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n$$

Sobre las partículas de un sistema actúan dos clases de fuerzas, las fuerzas interiores y las fuerzas exteriores.

Las **fuerzas interiores** son las ejercidas entre sí por las partículas del sistema. La resultante de las fuerzas interiores de un sistema es nula, ya que al calcularla se suma cada acción con su correspondiente reacción.

Las **fuerzas exteriores** son las que actúan sobre las partículas del sistema, pero proceden de la interacción entre las partículas del sistema y otros cuerpos que no pertenecen al sistema.



La resultante de las fuerzas que actúan sobre un sistema de partículas es igual a la resultante de las fuerzas exteriores que actúan sobre el mismo.

$$\sum \vec{F} = \sum F_{int} + \sum F_{ext} = \sum F_{ext}$$

$$Si \sum F_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \Delta \vec{p} = \vec{0}$$

Si la resultante de las fuerzas exteriores es nula, el sistema se dice aislado. Un sistema aislado es aquél que no interacciona con el exterior.

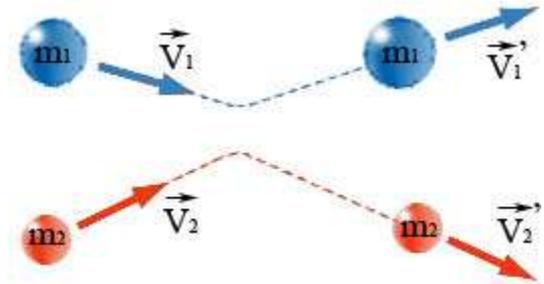
Principio de conservación de la cantidad de movimiento

Si la resultante de las fuerzas exteriores que actúan sobre un sistema de partículas es nula, la cantidad de movimiento del sistema permanece constante.

Pero aunque la cantidad de movimiento del sistema permanezca constante, puede variar la cantidad de movimiento de cada partícula del sistema.

Choques

En Física se considera un choque cualquier interacción muy intensa y de corta duración. Por ello, un choque es una interacción entre dos coches, entre dos bolas de billar y entre un arma y su proyectil, pero también una explosión en la que un cuerpo se rompe en varios trozos, como sucede en los fuegos artificiales.



Como en ausencia de fuerzas exteriores se conserva el momento lineal, para un sistema de dos partículas se puede decir que:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2'$$

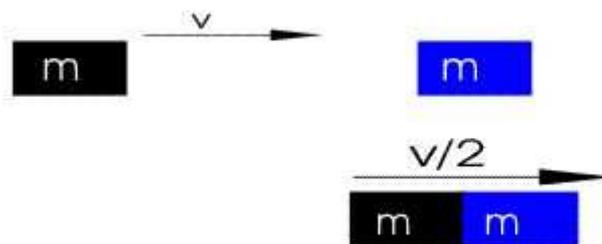
3.3 Tipos de choques

Choques elásticos e inelásticos

Al jugar a billar, habrás observado que cuando chocan las bolas frontalmente, si una de las bolas está en reposo, después de la colisión la que lanzas queda en reposo y la otra se mueve con una velocidad igual a la que llevaba la primera.

Si dos objetos chocan sin sufrir una deformación permanente y sin calentarse, se dice que el choque es **elástico**.

El ejemplo de las bolas de billar en el que una de las bolas transfiere su cantidad de movimiento a la otra es un caso de choque elástico, y también el que puedes ver en la primera simulación. Se da cuando las bolas tienen la misma masa.



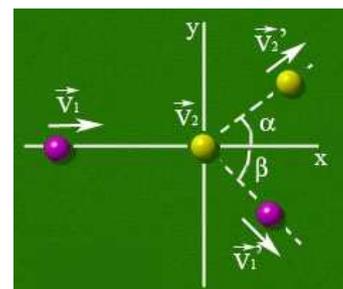
Cuando dos objetos chocan y tras la colisión quedan unidos, el choque se denomina **totalmente inelástico**.

Choques en dos dimensiones

En la vida diaria los choques no siempre se producen en una dirección, sino que es necesario considerar dos o tres direcciones.

Para resolver la situación que se te puede plantear, debes recordar que la cantidad de movimiento es una magnitud vectorial y que se representa mediante un vector.

La conservación de la cantidad de movimiento se expresa mediante una ecuación vectorial y para resolverla tendrás que formular una ecuación para cada eje. En un choque en el plano dos ecuaciones, una para la componente X y otra para la componente Y.



En el choque de la figura será:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2'$$

y las ecuaciones en los ejes quedarán:

$$\text{Eje X : } m_1 v_1 = m_2 v_2' \cos \alpha + m_1 v_1' \cos \beta$$

$$\text{Eje Y : } 0 = m_2 v_2' \sin \alpha + m_1 v_1' \sin \beta$$

4. Sistemas con un cuerpo

El caso más sencillo de estudio dentro de la dinámica es aquél en el que únicamente existe un cuerpo cuyo movimiento quiere estudiarse. Este tipo de problemas es fundamental, pues su método de resolución es similar al aplicado en problemas más complicados y, por lo tanto, si eres capaz de resolver un problema de un único cuerpo, te resultará evidente la forma de tratar problemas de varios cuerpos.

Con ese fin, conviene comenzar con las pautas que debes aplicar en la resolución de situaciones con sistemas dinámicos.

Para trabajar con un único cuerpo

Cuando tengas que resolver un problema de aplicación de las leyes de la dinámica, es importante que sigas ordenadamente las siguientes pautas:

- Identifica las fuerzas que se ejercen sobre el cuerpo, así como su origen, tipo y dirección.
- Dibuja un diagrama de fuerzas lo más simple posible, pero que contenga toda la información que se haya suministrado. El punto de aplicación de todas las fuerzas será el centro geométrico del cuerpo sobre el que actúan.
- Escoge un sistema de referencia cartesiano de forma que uno de los ejes coincida con la dirección esperada de movimiento del cuerpo. La componente perpendicular al plano de movimiento se denomina **Normal** mientras que la paralela al mismo es la componente **Tangencial**.
- Descompón todas las fuerzas en sus componentes según los ejes del sistema de referencia.
- Aplica la segunda ley de Newton en cada uno de los ejes.

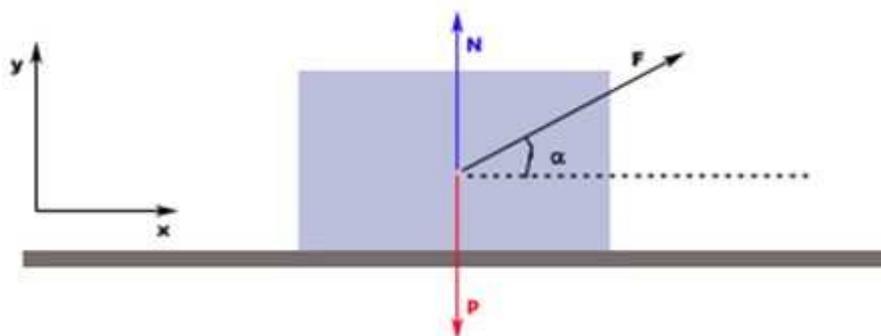
4.1 Plano horizontal

El caso más simple de sistema dinámico que podemos encontrar es aquél en el que un cuerpo se mueve sobre un plano horizontal con una fuerza F actuando sobre él. Además de dicha fuerza, en un problema de este tipo siempre actuarán dos fuerzas más:

- El peso (P), que en este tema representaremos preferiblemente por su valor $m \cdot g$. Siempre tendrá dirección vertical y hacia abajo.
- La normal (N), correspondiente a la fuerza de reacción de la superficie sobre la que se apoya el cuerpo. En este caso su dirección será, como su nombre indica, perpendicular a la superficie. En el caso de un plano horizontal siempre será vertical y hacia arriba.

Una vez identificadas las fuerzas, escogemos el sistema de referencia, que según se señaló deberá corresponder con la dirección del movimiento, en este caso horizontal-vertical.

El esquema general correspondiente a este tipo de movimiento se muestra a continuación:

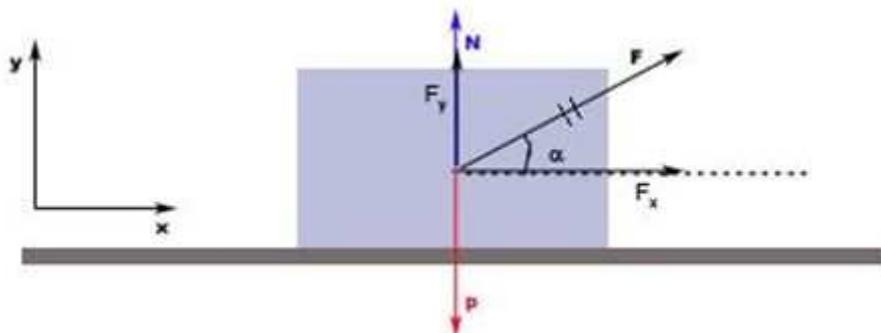


El siguiente paso es descomponer aquellas fuerzas cuya dirección no coincida con alguno de los ejes coordenados en sus componentes cartesianas. En este caso, la única fuerza que no coincide es la fuerza F, por lo que procedemos a descomponerla en sus componentes F_x y F_y .

$$F_x = F \cos \alpha$$

$$F_y = F \operatorname{sen} \alpha$$

El nuevo esquema con las fuerzas descompuestas en sus ejes quedaría como sigue:



Ya sólo queda escribir las ecuaciones del movimiento en cada uno de los ejes, teniendo en cuenta que en el eje y el cuerpo no presentará aceleración por encontrarse sobre un plano. Según esto, las ecuaciones serían:

$$F \cos \alpha = ma_x$$

$$F \operatorname{sen} + N - mg = 0$$

El oscilador armónico lineal

Un cuerpo unido a un muelle que oscila con movimiento periódico (cada tiempos iguales pasa por las mismas posiciones) se dice que es un oscilador armónico lineal, y también que lleva movimiento vibratorio armónico simple (MAS).

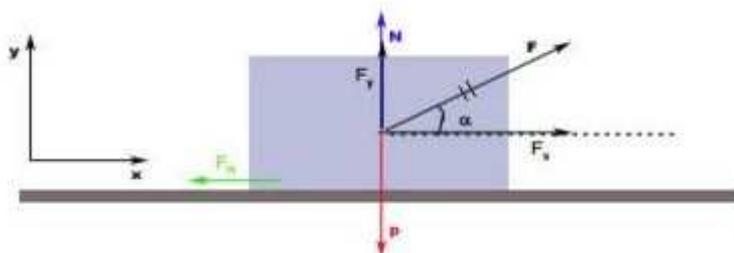
¿Con qué frecuencia oscila el cuerpo? Siendo k la constante del muelle y m la masa del cuerpo que oscila, se puede demostrar que la frecuencia de oscilación f es:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Esta ecuación es interesante porque relaciona una magnitud característica de la descripción del movimiento periódico con dos magnitudes mecánicas del oscilador, como son la masa que oscila y la constante recuperadora del muelle.

4.2 Plano horizontal con rozamiento

Ahora vas a estudiar un caso un poco más complicado del problema anterior; en él añadirás la existencia de una fuerza de rozamiento, caracterizada como ya has visto por un coeficiente de rozamiento μ . La diferencia consiste en la presencia de una nueva fuerza de rozamiento F_R en sentido contrario al movimiento, según se indica en el siguiente esquema:



La única consideración que debe hacerse es que su valor depende directamente del de la fuerza Normal, por lo que se produce una interdependencia entre las ecuaciones de los distintos ejes. Así pues, para resolver los problemas de rozamiento será necesario realizar los cálculos para ambos ejes.

Fíjate en cómo quedan las ecuaciones para este caso general de movimiento horizontal con rozamiento:

$$F \cos \alpha - F_R = ma_x$$

$$F \operatorname{sen} \alpha + N - mg = 0$$

Teniendo en cuenta que el valor de la fuerza de rozamiento es $F_R = \mu \cdot N$, puede escribirse:

$$F \cos \alpha - \mu N = ma_x$$

$$F \operatorname{sen} \alpha + N - mg = 0$$

Con este sistema de ecuaciones puedes resolver cualquier problema de movimiento horizontal, añadiendo más fuerzas si fuera necesario, asegurándote de incluirlas con su dirección y signo correctos.

¿Qué coeficiente de rozamiento se utiliza?

En los problemas con rozamiento debes recordar siempre que existen dos tipos de coeficiente de rozamiento (μ), y utilizar uno u otro en función del caso que tengas que resolver:

- Si el cuerpo no ha comenzado a moverse o quieres calcular en qué momento comienza a hacerlo utilizarás el coeficiente de rozamiento estático (μ_{es}).
- Si el cuerpo ya se encuentra en movimiento, utilizarás el coeficiente de rozamiento dinámico (μ_{di}).

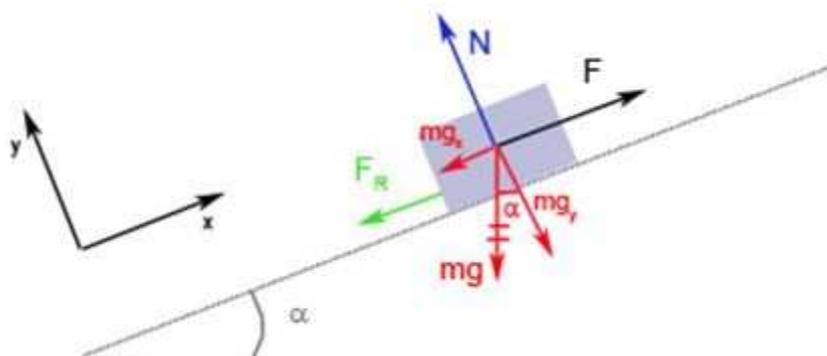
4.3 Plano inclinado

La mayor parte de los movimientos no tienen lugar en un plano horizontal, sino que presentan un cierto desnivel. La modelización de este tipo de casos, típicos en el estudio de la dinámica, es el movimiento sobre un plano inclinado.

Estudiaremos el caso general, con rozamiento y acción de una fuerza paralela al plano. Los casos más simples pueden obtenerse sin más que sustituir los datos suministrados en las ecuaciones.

En este problema es fundamental escoger adecuadamente los ejes de referencia, que se tomarán en la dirección del movimiento y su perpendicular, esto es, con el eje x paralelo a la superficie del plano inclinado.

Comenzaremos con el diagrama de fuerzas que actúan sobre un cuerpo en un plano inclinado, donde ya se ha descompuesto la única fuerza cuya dirección no coincide con ninguno de los ejes, el peso. Debes tener en cuenta a la hora de calcular su valor que el ángulo que forma respecto al eje y es el mismo que el ángulo del plano (α) por tratarse de ángulos alternos-internos.



El valor de los componentes de la fuerza peso en cada uno de los ejes es, en este caso:

$$mg_x = mg \operatorname{sen} \alpha$$

$$mg_y = mg \operatorname{cos} \alpha$$

Y las ecuaciones correspondientes resultan ser:

$$F - mg \operatorname{sen} \alpha - F_R = ma_x$$
$$N - mg \operatorname{cos} \alpha = 0$$

Sustituyendo la fuerza de rozamiento por su valor como producto del coeficiente de rozamiento por la normal, se obtiene:

$$F - mg \operatorname{sen} \alpha - \mu N = ma_x$$
$$N = mg \operatorname{cos} \alpha$$

Para calcular el valor mínimo de rozamiento para que un objeto no deslice por un plano inclinado cuando no actúa sobre él ninguna fuerza basta con igualar a cero tanto la fuerza como la aceleración en el conjunto de ecuaciones anterior, utilizando el coeficiente de rozamiento estático μ_{es} y considerar que el cuerpo permanecerá en reposo mientras la componente en el eje x del peso sea menor que el valor máximo de la fuerza de rozamiento:

$$mg \operatorname{sen} \alpha - \mu_{es} mg \operatorname{cos} \alpha \leq 0 \Rightarrow mg \operatorname{sen} \alpha \leq \mu_{es} mg \operatorname{cos} \alpha$$
$$\operatorname{sen} \alpha \leq \mu_{es} \operatorname{cos} \alpha \Rightarrow \mu_{es} \geq \tan \alpha$$

Otro caso de particular interés es el cálculo de la aceleración con que desliza un objeto en un plano inclinado cuando sobre él no actúa ninguna fuerza ($F=0$), teniendo en cuenta que ahora el cuerpo descenderá por el plano, por lo que deberemos cambiar el sentido del eje x, siendo ahora positiva la componente del peso y negativa la fuerza de rozamiento. Además, por existir movimiento, el coeficiente de rozamiento a utilizar será el dinámico μ_{di} :

$$mg \operatorname{sen} \alpha - \mu_{di} mg \operatorname{cos} \alpha = ma_x \Rightarrow a_x = g \operatorname{sen} \alpha - \mu_{di} g \operatorname{cos} \alpha$$
$$a_x = g (\operatorname{sen} \alpha - \mu_{di} \operatorname{cos} \alpha)$$

En el plano inclinado sin fuerzas externas

Las ecuaciones del plano inclinado se simplifican mucho en el caso de que no exista ninguna fuerza externa actuando sobre el sistema. Entre las situaciones más comunes cabe destacar, por su simplicidad:

- Aceleración de un cuerpo en ausencia de rozamiento ($\mu=0$): $a_x = g \cdot \operatorname{sen} \alpha$
- Aceleración de un cuerpo con rozamiento: $a_x = g \cdot (\operatorname{sen} \alpha - \mu_{di} \operatorname{cos} \alpha)$
- Valor mínimo del coeficiente de rozamiento para que un cuerpo no deslice por el plano:
 $\mu_{es} > \tan \alpha$

Si existe alguna fuerza externa es necesario utilizar el conjunto de ecuaciones, ya que no es posible realizar las simplificaciones que dan lugar a estos resultados.

5. Sistemas con dos cuerpos

Hasta ahora se han tratado casos de sistemas dinámicos simples en los que existía un único cuerpo, pero ésta no es la situación más común que podemos encontrarnos. Es interesante considerar el caso de sistemas formados por dos cuerpos que interactúan porque uno empuja a otro aun sin tener ninguna ligadura fija que los una.

Pero la mayor parte de dispositivos y máquinas que podemos observar a nuestro alrededor están formadas por distintas partes interrelacionadas entre sí, de tal forma que algún fallo o problema en cualquiera de ellas lleva asociado que el sistema en su conjunto deje de funcionar. Estos sistemas dinámicos formados por más de un cuerpo, son más complejos de estudiar que los sistemas de un único cuerpo, no tanto por el número de cuerpos a tratar (pues es posible, y de hecho así se hace, el estudio de cada uno de ellos por separado), sino por la necesidad de encontrar y establecer las relaciones entre todos ellos para predecir su movimiento.

Un caso particularmente clarificador es el del conjunto vehículo-remolque, en el cual la fuerza tractora del vehículo debe transmitirse de alguna forma al remolque: esto se consigue mediante el uso de un cable, cuerda o cadena que transmita la fuerza de un cuerpo al otro.

Si se observa detenidamente este dispositivo intermedio de transmisión de la fuerza, vemos que se **tensa** en el momento de la transmisión; por ello, en términos físicos hablaremos de **fuerzas de tensión**.

¿Qué son las fuerzas de tensión?

Se llama **tensión** a la fuerza de interacción ejercida entre dos cuerpos cuando uno de ellos transmite un movimiento a otro mediante un dispositivo material. Esta tensión se representará por **T** y se trata de una fuerza de acción-reacción sobre el intermediario, normalmente una cuerda o cable.

Para simplificar el estudio, las cuerdas y cables utilizados se consideran "ideales", con las siguientes características:

- No tendrán masa (luego no habrá fuerza peso).
- Serán inextensibles (y por lo tanto no almacenarán energía elástica en su interior y las distancias serán constantes).
- No se romperán (serán capaces de soportar cualquier tensión).

Evidentemente, esto no es así en la vida real, pero supone una simplificación aceptable en cuanto permite el estudio de los cuerpos enlazados con unas ecuaciones mucho más sencillas, ya que con estas condiciones podemos afirmar que las tensiones son iguales en los extremos. ¿Por qué?



La ecuación correspondiente a la cuerda es $T - T' = m \cdot a$, pero dado que la cuerda no tiene masa ($m = 0$), entonces $T = T'$ y por tanto las tensiones son exactamente iguales.

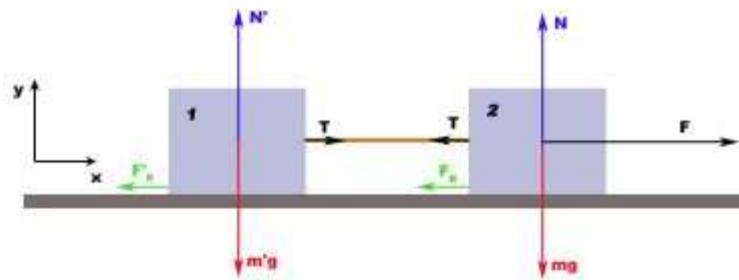
El movimiento de los cuerpos enlazados

Los cuerpos que están enlazados se mueven con la misma velocidad y aceleración, coincidiendo por tanto el espacio recorrido por cada uno de ellos. Además, las tensiones en los extremos de la cuerda son iguales y de sentido contrario.

5.1 Plano horizontal

El ejemplo más sencillo de cuerpos enlazados es el conjunto vehículo-remolque. Esta situación se presenta en situaciones como en un tren, entre la locomotora y los vagones que arrastra, o en un coche que remolca una caravana.

Esquemáticamente, el diagrama de fuerzas para un problema de dos cuerpos enlazados en movimiento en un plano horizontal con rozamiento es como se indica en la figura:



Al igual que se hizo en el caso de sistemas con un cuerpo, resulta conveniente señalar algunas pautas adicionales de utilidad a la hora de tratar con sistemas de cuerpos enlazados, como extensión de lo indicado para un único cuerpo.

Para trabajar con cuerpos enlazados

A la hora de resolver un problema de aplicación de las leyes de la dinámica en un sistema de cuerpos enlazados, es importante que sigas ordenadamente las siguientes pautas:

- Identifica los distintos cuerpos que intervienen en el problema (recuerda que las cuerdas no son cuerpos como tales, sino simplemente el medio transmisor de la fuerza de tensión)
- Identifica las fuerzas que se ejercen sobre cada cuerpo, así como su origen, tipo y dirección. Ten en cuenta que la tensión es una fuerza de acción y reacción aplicada en ambos extremos de la cuerda con sentido contrario en cada cuerpo.
- Dibuja un diagrama de fuerzas lo más simple posible, pero que contenga toda la información que se haya suministrado. El punto de aplicación de todas las fuerzas será el centro geométrico del cuerpo sobre el que actúan.
- Escoge un sistema de referencia cartesiano de forma que uno de los ejes coincida con la dirección esperada de movimiento del conjunto. Este sistema de referencia debe ser el mismo para todos los cuerpos intervinientes.
- Descompón todas las fuerzas en sus componentes según los ejes del sistema de referencia.
- Aplica la segunda ley de Newton para cada uno de los cuerpos por separado y en cada uno de los ejes.

Según esto, y a la vista del diagrama de fuerzas para el sistema enlazado anterior, se puede escribir las ecuaciones del movimiento para cada uno de los cuerpos:

$$\text{Cuerpo 1: } T - F_R' = m'a' \quad N' - m'g = 0$$

$$\text{Cuerpo 2: } F - T - F_R = ma \quad N - mg = 0$$

Una vez escritas las ecuaciones, debes tener en cuenta que, dadas las consideraciones realizadas en cuanto a la naturaleza de la cuerda, las aceleraciones de ambos cuerpos deberán ser las mismas ($a = a'$), al igual que el valor de T . Si sustituyes el valor de la fuerza de rozamiento llegas a las ecuaciones desarrolladas:

$$\text{Cuerpo 1: } T - \mu m'g = m'a \quad N' = m'g$$

$$\text{Cuerpo 2: } F - T - \mu mg = ma \quad N = mg$$

5.2 Plano vertical

El problema del ascensor

Imagina que estás en un ascensor encima de una báscula. Obviamente, cuando el ascensor está en reposo, lo que marca la báscula es tu peso. En realidad, tú haces sobre la báscula una fuerza igual a tu peso (P), que ella te devuelve por reacción (N , normal, que es lo que marca la báscula), por lo que la resultante que actúa sobre ti es nula.

Pero ¿qué sucederá cuando el ascensor sube o baja con velocidad constante? ¿Y con aceleración constante? ¿Qué marcará la báscula en cada caso? Para saberlo, utiliza el simulador siguiente.



En resumen, puedes utilizar la ecuación siguiente, que sirve para todos los casos, teniendo en cuenta, como siempre, signo positivo hacia arriba:

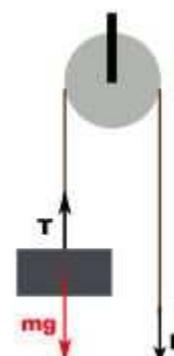
$$N = m(g \pm a)$$

La máquina de Atwood

Dentro del conjunto de sistemas dinámicos formados por cuerpos enlazados, otro caso de particular interés es el de una máquina simple: la polea, que nos permite elevar un cuerpo más fácilmente al poder aplicar la fuerza hacia abajo.

La polea más sencilla es la polea simple, que transmite directamente la fuerza realizada sobre la cuerda hasta el cuerpo, tal y como se indica en el diagrama adjunto. Resulta evidente que, en este caso $T = F$.

Realmente, éste es un caso de un único cuerpo, pero existe una variante de la polea simple que resulta ser el caso más simple de cuerpos enlazados en



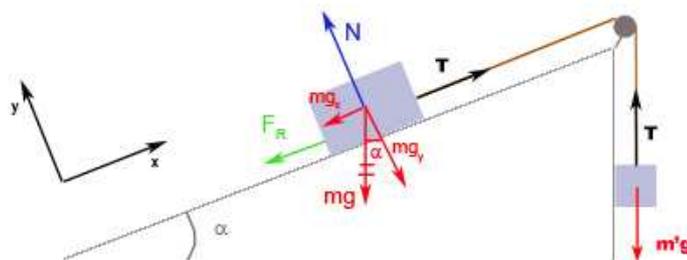
movimiento vertical. Es la conocida como **máquina de Atwood**, y se trata básicamente de una polea simple en la que en el otro extremo de la cuerda se ubica otro cuerpo.

De nuevo la cuerda no tiene masa, es inextensible y no existe rozamiento de ningún tipo entre la polea y la cuerda.

5.3 Plano inclinado

Una vez vistos los ejemplos generales de cuerpos enlazados en una dimensión, es momento de ver el caso de dos cuerpos enlazados en un plano inclinado. Este problema no exige ningún conocimiento especial distinto de los que ya se han estudiado; únicamente presenta una mayor dificultad en el sentido de que algunas fuerzas no actúan en las direcciones de los ejes elegidos, y exige aplicar lo aprendido tanto en el estudio de los planos inclinados como en el de la dinámica de cuerpos enlazados.

Pero vas a resolver un caso algo más simple, en el que una de las paredes es perpendicular al suelo. El esquema de fuerzas será similar al que puedes ver en la imagen



En esta ocasión los ángulos serán $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 90^\circ$.

En primer lugar se escriben las ecuaciones correspondientes a cada uno de los cuerpos; para el cuerpo situado en el plano inclinado, éstas serán las generales del plano inclinado que ya se calcularon sin más que sustituir F por la tensión T, resultando:

$$T - mg \operatorname{sen} \alpha - \mu N = ma$$

$$N = mg \operatorname{cos} \alpha$$

Para el segundo cuerpo, las ecuaciones son mucho más simples por tratarse de un sistema en una única dirección. Lo único que debe tenerse en cuenta es que, como se ha tomado como sentido positivo en el primer cuerpo el de la tensión, en el segundo cuerpo el sentido positivo será aquel en el que la aceleración es hacia abajo, ya que según hemos visto deberán ser iguales. Por todo ello las ecuaciones quedarán:

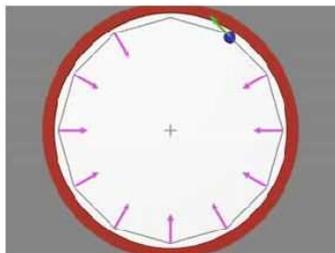
$$m'g - T = m'a$$

en la que hay que recordar que tanto la tensión (T) como la aceleración (a) son iguales para ambos cuerpos.

6. Trayectorias no rectilíneas

Ya sabes que si un móvil no sigue una trayectoria rectilínea, va cambiando la dirección de su vector velocidad, por lo que hay aceleración. Recibe el nombre de **aceleración centrípeta**, y se calcula como v^2/R , siendo v la velocidad del móvil en cada instante y R el radio de curvatura de la trayectoria. Su dirección va precisamente hacia el centro de la trayectoria.

En el vídeo de la izquierda se indica en color verde el vector velocidad de una bola azul que rebota en la parte interior de una pared circular, realizando una trayectoria cerrada. En cada rebote, cambia la dirección de ese vector, y se representa en magenta el vector aceleración, diferencia entre los vectores velocidad después y antes del choque con la pared. En cada giro aumenta el número de rebotes, con lo que la trayectoria se va aproximando a la circunferencia. Como puedes ver, el vector aceleración está dirigido hacia el centro de la circunferencia.



En el vídeo de la derecha puedes ver un modelo del clásico "looping" que está presente en las montañas rusas y también en los vuelos acrobáticos.

También conoces las características del movimiento circular uniforme, calculando la velocidad de giro, relacionándola con la lineal y teniendo en cuenta además las características periódicas de ese tipo de movimiento.

Ahora vas a analizar una serie de movimientos en los que toda la trayectoria o bien solamente una parte, que es la que nos interesa, es una circunferencia: perfecta en el caso de la noria y aproximada en el del avión haciendo un looping o rizo.



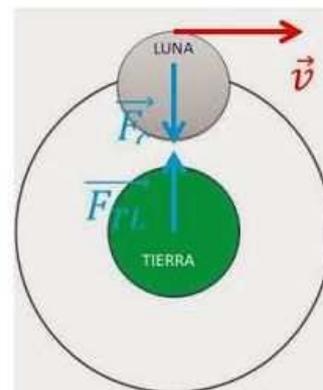
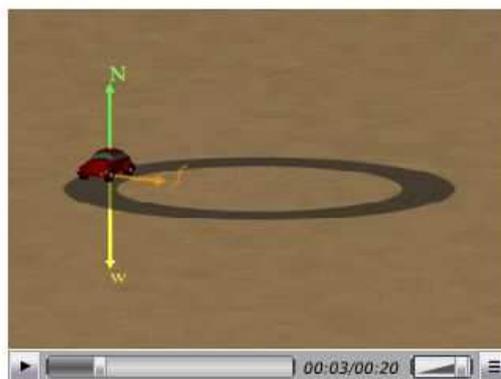
De entre los muchos casos que hay en tu entorno, se proponen algunos casos relevantes:

- En ámbitos muy variados, como el lanzamiento de martillo o los loopings de las patrullas acrobáticas aéreas.
- Relacionados con el tráfico, tales como son coches y motos que se mueven en curvas, cambios de rasantes o peraltes.
- Que se dan en parques de atracciones, como es el caso de norias, montañas rusas, carruseles y tubos de la muerte (cilindro por cuya pared interior se mueven motos ¡y hasta coches!).

6.1 La fuerza centrípeta

Ya has visto que las aceleraciones vienen causadas por la existencia de una fuerza neta que actúa sobre el cuerpo. ¿Cuál es la fuerza que provoca ese cambio de dirección del vector velocidad? ¿Qué la produce? ¿Cuál es el origen de esa fuerza, llamada 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.



¿Y en el caso de los coches que toman una curva? Si te fijas en el vídeo, aparece una fuerza centrípeta, originada por el rozamiento de las ruedas con la carretera: si no hay rozamiento, el coche sale de la curva. ¿Has oído la expresión "salirse por la tangente"?

Por último, observa la imagen de la Luna girando alrededor de la Tierra. En este caso, la fuerza centrípeta es la fuerza de atracción gravitatoria con la que la Tierra atrae a la Luna.

El valor de la fuerza centrípeta

Ya has visto que las aceleraciones vienen causadas por la existencia de una fuerza neta que actúa sobre el cuerpo. ¿Cuál es la fuerza que provoca ese cambio de dirección del vector velocidad? ¿Qué la produce?



Esta fuerza centrípeta es la causa de los cambios de dirección de los móviles en su desplazamiento. Puede ser de contacto, como la sirga en un lanzamiento de martillo o el rozamiento entre las ruedas de un coche que toma una curva y el asfalto, o bien a distancia, como la atracción gravitatoria de la Tierra sobre un satélite o sobre un avión que hace un looping.

Va dirigida al centro de curvatura de la trayectoria (el centro de la circunferencia en el caso más sencillo).

Su módulo viene dado por la expresión $F_c = mv^2 / R$, en la que m es la masa del móvil y, como ya sabes, v^2 / R es la aceleración centrípeta (v es la velocidad y R el radio de giro). Recordando la relación entre las velocidades lineal y angular ($v = \omega R$, donde ω es la velocidad angular), también se puede escribir como $F_c = m\omega^2 R$

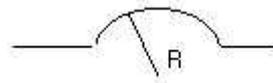
Es decir, simplemente se aplica la ley de la dinámica $F=ma$.

La fuerza centrípeta

Es la causa de los cambios de dirección del vector velocidad cuando un objeto sigue una trayectoria no rectilínea. Va dirigida hacia el centro de la trayectoria y su módulo viene dado por mv^2 / R o por $m\omega^2 R$.

No es habitual que los móviles describan trayectorias exactamente circulares. Sí se dan en las norias, pero los loopings que describen los aviones son casi circulares, y los cambios de rasante y las curvas de las carreteras son arcos de circunferencia.

Por tanto, para poder realizar un análisis de las situaciones que nos interese resolver, reduciremos los problemas a trayectorias total o bien parcialmente circulares.



¿Fuerza centrífuga?

Seguro que has oído este término muchas veces: la lavadora centrifuga a 1200 rpm, en el análisis de sangre los tubos se centrifugan en el laboratorio, etcétera. Pero ¿qué hace la fuerza centrífuga?: absolutamente nada, ya que **la fuerza centrífuga no es una fuerza real** que origine algún tipo de efecto relacionado con el giro de los cuerpos.

Imagina que estás sentado dentro de un coche, con los ojos cerrados. El coche circula con rapidez constante por una pista de pruebas, comenzando por una larga recta. En un momento dado, tienes la sensación de que una fuerza te desvía y te quedas pegado a la ventanilla. Como has experimentado una aceleración al cambiar la dirección de tu movimiento, deduces que una fuerza ha actuado sobre ti para provocar ese efecto: precisamente ésa es la fuerza centrífuga.



Si un observador externo hubiera visto la misma situación, ¿cómo la explicaría?: simplemente diría que el coche ha tomado una curva, que sobre él ha actuado una fuerza centrípeta que le obliga a girar (ya veremos más adelante que es la fuerza de rozamiento entre las ruedas y el asfalto), pero que como no actúa sobre ti, sigues con la trayectoria que llevabas, tangente a la trayectoria de la curva, y te desvías hacia la ventanilla.

Ten presente que tu movimiento no lo provoca ninguna fuerza, sino más bien la ausencia de una fuerza, la centrípeta. Eso sí, tú mismo puedes producir esa fuerza centrípeta, agarrándote al asidero que hay encima de la ventanilla.

Fíjate ahora en la montaña rusa: cuando la vagoneta pasa por los cambios de rasante (las cimas) hay que sujetarse para no salir despedido, y por eso se utilizan barras y arneses de retención. ¡Y no es la fuerza centrífuga la que hace salir despedido de las vagonetas, sino la ausencia de centrípeta!



Fuerza centrípeta y fuerza centrífuga

Además de usar la fuerza centrífuga como si fuera real, otro **error muy común** es considerar que **la fuerza centrípeta y la centrífuga forman un par de acción y reacción**; hay que tener presente que esos pares de fuerzas son fuerzas reales que surgen de la interacción entre dos cuerpos.

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.

Estudio de casos

Ahora es el momento de aplicar lo que sabes acerca de la fuerza centrípeta a algunas situaciones cercanas de gran interés.

¿Cómo vas a abordar la interpretación de situaciones en las que hay aceleración centrípeta? Es aconsejable que sigas estos pasos:

- Reconocer que cambia la dirección del vector velocidad.
- Identificar el origen de la fuerza centrípeta que provoca esa aceleración.
- Representar el diagrama de las fuerzas que actúan sobre el móvil.
- Igualar la fuerza centrípeta concreta a su expresión general (mv^2/R).

Además, vas a considerar la influencia de diferentes factores sobre el movimiento: la velocidad del objeto, su masa, el radio de la trayectoria descrita, la tensión de la cuerda, el coeficiente de rozamiento o el ángulo de inclinación que producen la fuerza centrípeta, etcétera, como irás viendo en cada caso.



¿Qué situaciones analizarás?

- Cuerpos que giran por acción de una ligadura (cuerda, varilla, etcétera), como sucede en el lanzamiento de martillo.
- Coches que toman las curvas en carreteras planas por acción de la fuerza de rozamiento.
- Móviles que hacen un looping (rizan el rizo) por acción de su propio peso.
- Ciclistas y motoristas que se inclinan para tomar mejor las curvas, hasta casi rozar el suelo con la rodilla.
- Velódromos y pistas cubiertas de atletismo con curvas inclinadas (peraltadas).
- Satélites que giran alrededor de los planetas debido a la fuerza gravitatoria.
- Parques de atracciones: montañas rusas con rizos, curvas peraltadas, tubos de la muerte y carruseles.

6.2 Cuerpos enlazados

Fíjate en el vídeo: un lanzador de martillo gira sobre sí mismo, y hace girar la bola de aproximadamente 7,250 kg mediante una sirga metálica. Tras tres o cuatro giros completos, en un momento dado suelta el aparato, que sale en la dirección que llevaba en ese momento, tangente a la trayectoria. Se pueden alcanzar distancias superiores a los 50 m, con un récord mundial por encima de los 85 m.



¿Cuál es la fuerza que hace girar al martillo? La tensión T de la sirga, ejercida por el lanzador y que se transmite a la bola (consideramos que el peso del martillo es perpendicular al plano de giro). Por tanto,

$$T = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R$$

de forma que sabiendo tres de las magnitudes podrás determinar la cuarta.

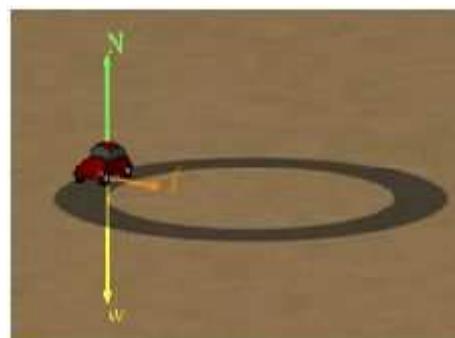
Cualquier situación en que haya un objeto que gira en un plano horizontal mediante una cuerda tensa, se resuelve de esta forma.

Además, podrás plantearte preguntas sobre cómo influirán las diferentes variables en el proceso. Por ejemplo, ¿por qué es necesario que el lanzador tenga una gran fuerza muscular? ¿Interesa que la sirga sea larga o corta? ¿Cómo influye la rapidez de giro?

6.3 Rozamiento

¿Qué fuerza es la que permite que un coche tome una curva plana? ¿Cuál es la fuerza centrípeta que evita que el coche, como suele decirse, se "salga por la tangente"? ¿De qué depende la velocidad máxima a la que el móvil puede tomar la curva?

La responsable es la **fuerza de rozamiento** entre las ruedas y la superficie de la carretera. Fíjate en el vídeo, en el que se ve que sobre el coche actúan tres fuerzas: su peso, realizada por



la Tierra, vertical hacia abajo (w , amarilla); la reacción del suelo en el que se apoya, vertical hacia arriba (N , verde) e igual en módulo al peso, con lo que en la dirección vertical la fuerza resultante es nula; y, por último, la fuerza de rozamiento entre el coche y la superficie de apoyo, dirigida hacia el centro de curvatura y responsable de que el coche tome la curva sin peligro (f , naranja).

En realidad, el coche empuja a la pista hacia fuera de la curva, y la pista, por reacción, realiza sobre el coche una fuerza hacia el interior de la curva: ése es el origen de la fuerza centrípeta.

Utilizando la expresión de la fuerza de rozamiento que ya conoces, se tiene que:

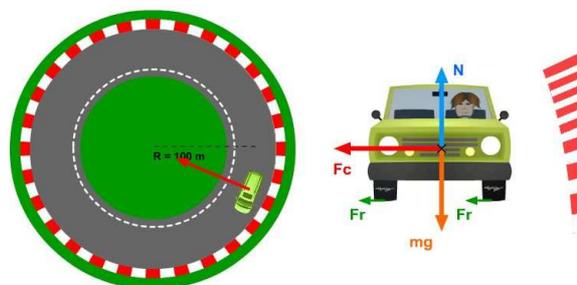
$$\mu mg = \frac{mv^2}{R}$$

con lo que la expresión de la velocidad se reduce a:

$$v = \sqrt{\mu g R}$$

Es decir, cuanto mayor sea el radio de curvatura y el coeficiente de rozamiento, mayor será la velocidad máxima a la que se puede tomar una curva sin derrapar, pero la masa no influye.

Observa el simulador y modifica la rapidez del coche; verás como la fuerza de rozamiento se deberá ir incrementando para proporcionar la fuerza centrípeta suficiente como para que el coche describa la curva sin salirse de ella.



6.4 Cambios de rasante

Los cambios de rasante son arcos de circunferencia que habitualmente tienen un radio bastante grande, pero que pueden provocar que el coche vuele si pasa a demasiada velocidad. No hay más que ver el vídeo para comprobarlo.

Resultan tan peligrosos por esa razón que hasta hay una señal de tráfico específica para indicarlo.



¿Cuál es la fuerza centrípeta?: en el punto más alto es la resultante del peso y la normal ($P - N$). La situación límite para que el coche no "vuele" es que la normal sea cero en ese punto. En este caso, la fuerza centrípeta es el peso del móvil que pasa el cambio de rasante. Es decir,

$$mg = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow v = \sqrt{gR}$$

Como puedes ver, la velocidad máxima de paso por el cambio de rasante depende únicamente de su radio de curvatura, pero no de la masa del móvil. La dependencia no es lineal: un radio cuatro veces mayor supone una velocidad doble.

También depende del valor de g , que no presenta variaciones apreciables en la Tierra y, por tanto, influye en menor medida (recuerda que al aumentar la altura g disminuye).

6.5 Rizando el rizo

Resulta extraordinariamente espectacular ver cómo móviles pequeños (bolas) o grandes (coches) recorren una pista vertical describiendo una circunferencia; se dice que están haciendo un **looping**, y también que están **rizando el rizo**.



Observa en el vídeo el movimiento del coche: riza el rizo con toda facilidad, entrando en él desde un tramo horizontal y saliendo por otro tramo también horizontal.

Ahora solamente te vas a ocupar del aspecto dinámico de la situación, relacionando la fuerza centrípeta con la velocidad de giro y el radio de la pista, pero en el tema siguiente analizarás los aspectos energéticos de este mismo caso.

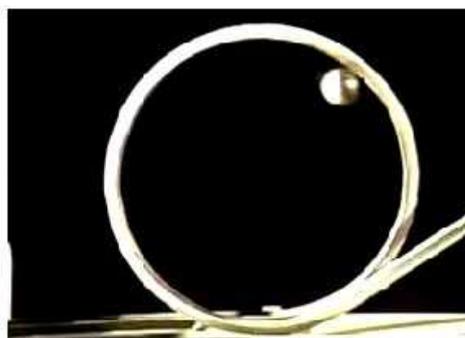
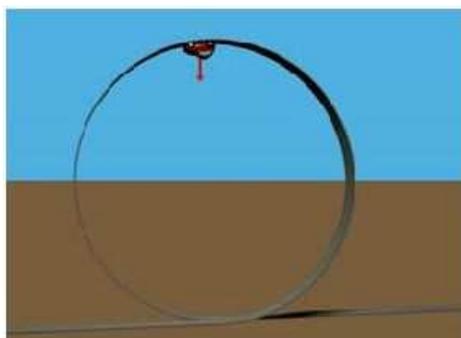
Si te fijas, en el punto más alto la velocidad es menor que la de entrada y de salida del rizo; parece que, durante un instante, el coche va a quedarse suspendido en el aire.

¿Qué crees que sucedería si la velocidad de entrada fuese un poco menor? ¿Rizaría el rizo?

¿Cuál es la fuerza centrípeta que permite que el móvil describa el giro? Cuando entra en la pista vertical, la normal del suelo va dirigida hacia arriba, hacia el centro de giro; conforme va subiendo, la normal va siendo cada vez menor. Incluso puede llegar a anularse, con lo que en el punto más alto del giro la fuerza centrípeta será el peso del móvil.

En la animación de la izquierda puedes ver en amarillo la fuerza normal, que se anula en la parte superior del rizo. Se aprecia muy bien cómo el coche casi se detiene en el punto más alto.

En el vídeo de la derecha, la bola describe perfectamente el giro si se deja caer desde bastante altura por la rampa de acceso al rizo. Pero si se deja caer desde poca altura, se despega de la pista antes de llegar al punto más alto y no lo describe totalmente.



6.6 Moto GP

¿Qué característica especial tienen las motos? Seguro que sabes que los motoristas inclinan su máquina para tomar mejor las curvas. Fíjate en cómo toma una curva Dani Pedrosa.

Naturalmente, hay rozamiento con el asfalto, pero no es suficiente para tomar la curva a la velocidad que necesitan llevar. Al inclinarse aumenta la fuerza centrípeta, y eso permite tomar la curva a mayor velocidad, o tomar a una velocidad dada una curva de radio pequeño.

¿Qué fuerzas reales actúan sobre la moto? El rozamiento, como siempre, porque en caso contrario la moto no podría circular; cuando toma la curva, produce fuerza centrípeta, como ya has visto antes. Además, también actúan el peso ejercido por la Tierra, y la normal, realizada por la superficie.

Observa ahora el diagrama de fuerzas: la resultante del peso y la normal es una fuerza dirigida hacia el centro de la curva. Se representa solamente la contribución de la inclinación a la fuerza centrípeta: para obtener el valor total habría que sumar la fuerza de rozamiento.



Sin tener en cuenta el rozamiento, siendo α el ángulo de inclinación de la moto respecto de la vertical, se cumple que:

$$\tan \alpha = \frac{F_{\text{centrípeta}}}{\text{Peso}} = \frac{F_c}{mg} \Rightarrow F_c = mg \tan \alpha$$

Inclinación y fuerza centrípeta

La inclinación de una moto, bicicleta o cualquier otro móvil al tomar una curva aumenta la fuerza centrípeta que le permite tomar la curva con mayor velocidad y seguridad.

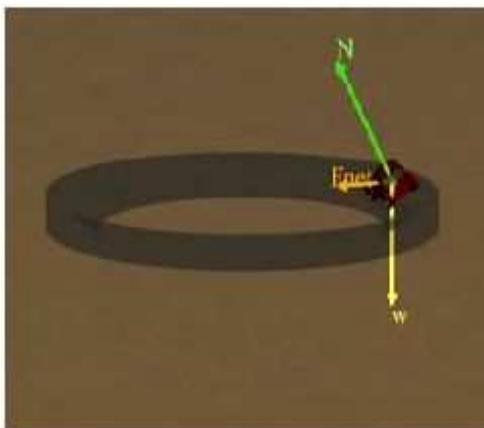
6.7 Peraltes

Para conseguir que una curva se pueda tomar a mayor velocidad, hay que peraltarla, elevando la parte exterior para que el móvil experimente el mismo efecto que produce la inclinación de un motorista: aumentar la fuerza centrípeta.

Observa el vídeo para ver el origen de la fuerza centrípeta. Fíjate en que al aumentar la inclinación respecto de la horizontal también lo hace la fuerza centrípeta.

Los peraltes son muy llamativos en las pistas que tienen curvas muy cerradas, como es el caso de los velódromos y las pistas cubiertas de atletismo (de 200 m de cuerda, en lugar de los 400 de las pistas al aire libre). Resulta extraordinariamente difícil andar o correr por ellos.

También hay en los circuitos de automovilismo y motociclismo, pero se notan mucho menos a simple vista, aunque su efecto sí resulta apreciable.



6.8 Parques temáticos

La fuerza centrípeta resulta necesaria para explicar cómo funcionan muchos aparatos de los parques temáticos.

En los **carruseles de caballitos** hay que sujetarse a la barra para no salir despedido: el niño tira de la barra hacia fuera, y la barra empuja al niño hacia adentro, produciéndose la fuerza centrípeta necesaria.

En las **montañas rusas** hay subidas y bajadas vertiginosas: al llegar a una de las cimas, las barras de sujeción y los arneses evitan que los pasajeros salgan despedidos. Además, hay curvas muy pronunciadas, que se tienen que peraltar para poderlas tomar a gran velocidad. También hay tirabuzones, y, por supuesto, loopings.



En estos dos vídeos puedes ver, en primer lugar, un modelo de montaña rusa montado con un juguete de construcción con piezas de plástico del tipo mecano. A la derecha, hay una filmación hecha desde una vagoneta que va por una montaña rusa con un triple looping y todo tipo de ascensos, descensos y tirabuzones.

¿Cuál es la fuerza centrípeta que obliga a seguir esas trayectorias? Las vagonetas están sujetas a los raíles, por lo que la fuerza necesaria la proporcionan esas sujeciones, mientras que los ocupantes reciben la acción directa de barras y arneses.

7. Interacciones gravitatorias

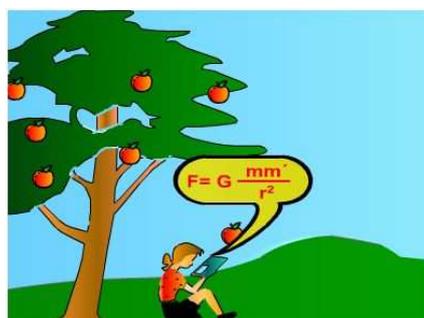
Al analizar la caída libre de los objetos ya viste que caen con una aceleración que tiene un valor de aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$ a nivel del mar. ¿Ese valor depende de la masa de los objetos que se dejan caer?

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.

7.1 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

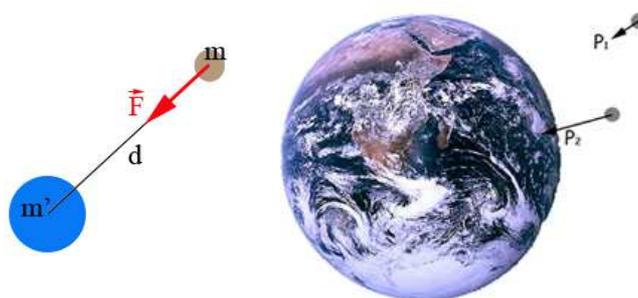
La fuerza de atracción gravitatoria F entre dos masas m y m' es:

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

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. Puedes comprobarlo utilizando el simulador o analizando la expresión de la ley de gravitación universal.

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}), P 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:

$$F = G \frac{mm'}{d^2} \quad \text{y} \quad P = mg$$

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

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 **$9,81 \text{ N/kg}$** .

Entre la Tierra y la Luna

Los cuerpos sufren la atracción de cualquier otro cuerpo que hay en el Universo. Lo que sucede es que si la distancia entre ellos es grande en comparación con el tamaño y la masa del cuerpo que genera la atracción, la fuerza es tan pequeña que se puede despreciar.

Por ejemplo, un cuerpo en la superficie de la Tierra también experimenta la fuerza de atracción de la Luna, pero como su valor es muchísimo menor que la atracción que realiza la Tierra sobre él, no hay que tenerla en cuenta.

¡Y tampoco tienes que tener en cuenta la atracción gravitatoria que realiza sobre ti cualquiera de las personas que tienes cerca!

7.2 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 $9,81 \text{ m s}^{-2}$.

Fíjate en que el transbordador espacial tiene más masa que el satélite, por lo que su peso es mayor (el vector que lo representa es más largo). Observa que al alejarse, el peso es menor, y que siempre está dirigido al centro de la Tierra. También se representa la fuerza de reacción ejercida en cada caso sobre la Tierra.



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 $9,78 \text{ ms}^{-2}$.



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 ($7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ y $1737,4 \text{ km}$). Sustituyendo en la ley de gravitación universal, g tiene un valor de $1,62 \text{ ms}^{-2}$. 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.

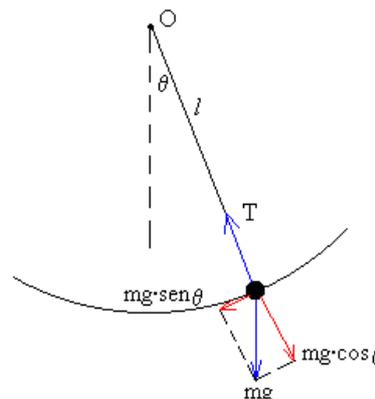
La masa es invariante, lo que quiere decir que no varía independientemente de dónde se encuentre; sin embargo, el peso puede variar dependiendo del lugar donde se mida.

7.3 El péndulo

El péndulo simple

Se trata de una masa puntual que cuelga de una cuerda inextensible y sin peso, y que al separarlo de su posición de equilibrio oscila con un movimiento armónico simple (repite las mismas posiciones cada cierto tiempo, el periodo de su oscilación).

Se puede hacer una estimación del valor de la gravedad, g , mediante un tratamiento experimental de la oscilación de diferentes péndulos, ya que la demostración matemática queda para la Física de 2º de Bachillerato.



Estimando el valor de g

Se puede demostrar la relación existente entre el periodo de oscilación del péndulo, su longitud y el valor de la aceleración de la gravedad, g .

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Como has determinado el valor de T para diferentes longitudes de oscilación, no tienes más que calcular el valor de g y ver si el error cometido en la determinación es pequeño.

7.4 Planetas y satélites

La Luna gira alrededor de la Tierra, y el satélite Meteosat también, solo que a una distancia mucho menor.

¿Cuál es el origen de la fuerza centrípeta responsable de esos movimientos de rotación?: la fuerza de atracción gravitatoria entre la Tierra y esos cuerpos. Es decir, su propio peso es la fuerza que hace cambiar continuamente la dirección del vector velocidad de los satélites, originando en esos casos el movimiento circular uniforme.

Para resolver situaciones en las que intervengan satélites (o planetas girando alrededor del Sol), solamente tienes que tener en cuenta la ley de gravitación universal y los conceptos relacionados con el movimiento circular uniforme.

¿Qué fuerza hace girar a los satélites?

La atracción gravitatoria es el origen de la fuerza centrípeta que permite que los satélites giren alrededor de los planetas.

7.5 Leyes de Kepler

De la escuela pitagórica a Kepler

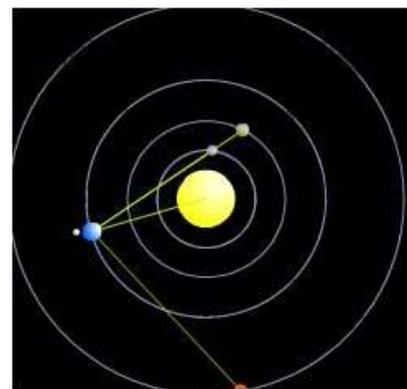
El camino histórico que lleva hasta el establecimiento de la ley de la gravitación universal fue largo y sinuoso. Pero es, a la vez, uno de los ejemplos más interesantes que se pueden encontrar en la Historia de la Ciencia. En este proceso de construcción del saber científico cabe distinguir dos etapas: en primer lugar, la descripción del movimiento planetario y, en segundo, el análisis de las causas del mismo.

Ya desde la escuela pitagórica, los astrónomos griegos se preocuparon por dar una interpretación al movimiento de los astros, procurando describir el Universo en términos geométricos y numéricos.

Después de la propuesta de Eudoxo (408-355 a.C.) y Calipo (330 a.C.), la teoría de las esferas homocéntricas, una de las primeras teorías capaces de explicar la cinemática del Sistema Solar, fue la defendida por Hiparco (190-120 a.C). Se trata de la **teoría geocéntrica**, según la cual la Tierra se encontraba estacionaria en el centro, mientras que los planetas, el Sol y la Luna giraban en torno a ella.

Como las órbitas circulares simples no podían explicar los complicados movimientos de los planetas, Hiparco supuso que el planeta describe, con movimiento uniforme, una circunferencia -llamada epiciclo- alrededor de un punto D, el cual, a su vez, se mueve sobre otra circunferencia mayor con centro en la Tierra -de nombre deferente-. La trayectoria resultante es una epicicloide.

Claudio Ptolomeo (85-165 d.C.) adoptó y desarrolló el sistema utilizado por Hiparco. El número de movimientos periódicos conocidos en aquel momento era ya enorme: hacían falta unos ochenta círculos para explicar los movimientos aparentes de los cielos. El propio Ptolomeo llegó a la conclusión de que tal sistema no podía tener realidad física, considerándolo una conveniencia matemática. Su famoso tratado de astronomía, el Almagesto, fue una obra capital durante toda la Edad Media y, aún hoy, constituye la fuente de nuestro conocimiento acerca de las ideas de los astrónomos griegos.

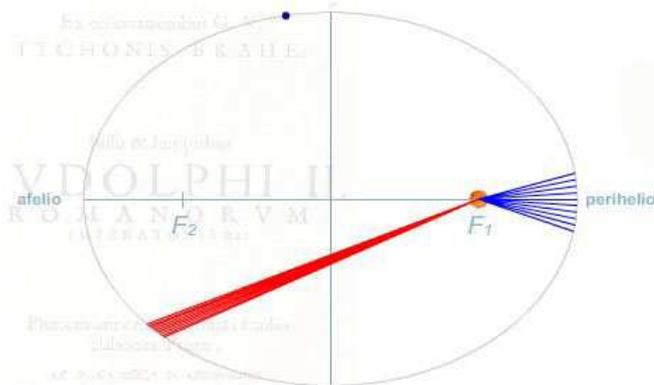


En el siglo XVI, **Nicolás Copérnico** (1473- 1543), con la publicación en 1543 de su obra *De Revolutionibus Orbium Caelestium*, inaugura un profundo cambio en el pensamiento astronómico: frente a la teoría geocéntrica, propuso la llamada teoría heliocéntrica. En ella el Sol era el centro del Sistema Solar y la Tierra, al igual que el resto de los planetas, giraba en torno a él. Con esta teoría, Copérnico, que seguía utilizando circunferencias, epiciclos y distribuciones similares, proporcionó una descripción más simple del movimiento planetario. Sobre todo, estableció las bases para el futuro desarrollo de la imagen del Sistema Solar.

Las ideas de Copérnico estimularon a algunos astrónomos, entre los que se encontraba **Tycho Brahe** (1546-1601). Brahe pasó su vida recopilando datos referentes al movimiento de los planetas; sus medidas eran de una precisión extraordinaria para la tecnología de la época, máxime si consideramos que aún no se había inventado el telescopio. Su ayudante **Johannes Kepler** (1571-

1630), a partir de los datos obtenidos por Brahe y con el modelo de Copérnico, enunció las leyes que llevan su nombre y que describen cinemáticamente el movimiento de los planetas.

Planeta	Distancia al Sol (r en U.A.)	Período de revolución (T en años)	Relación de Kepler (T^2/r^3)
Tierra	1,0000	1,0000	1,000
Mercurio	0,3885	0,2405	0,986
Marte	1,5302	1,8797	0,986
Júpiter	5,2215	11,8354	0,984



Leyes de Kepler

1. Los planetas describen órbitas elípticas, estando el Sol en uno de los focos (**ley de las órbitas**). Se termina así con las órbitas circulares, la más antigua premisa que hasta ese momento unía al sistema copernicano con el modelo griego.
2. El vector de posición de cualquier planeta con respecto al Sol barre áreas iguales en tiempos iguales (**ley de las áreas**).
3. Los cuadrados de los períodos de revolución son proporcionales a los cubos de las distancias promedio de los planetas al Sol (**ley de los periodos**).

El año marciano (¿otra vez?)

Ya has calculado la duración del año marciano. Ahora solamente debes fijarte en que en realidad has utilizado la tercera ley de Kepler para hacerlo, aunque la has deducido a partir del movimiento circular uniforme que llevan la Tierra y Marte alrededor del Sol.

8. Interacciones eléctricas

Además de la masa, la carga es otra de las propiedades fundamentales de la materia. De hecho, dos de las tres partículas fundamentales tienen carga: negativa los electrones y positiva los protones. Si un objeto es neutro, significa que tiene tantas cargas positivas (protones) como negativas (electrones); si tiene carga, es porque hay exceso de unas o de otras.

Como los protones se encuentran situados en el núcleo de los átomos y los electrones en la corteza electrónica, alrededor del núcleo, son estos últimos las partículas que pueden moverse entre los cuerpos: si un objeto es negativo, es porque ha ganado electrones, y si es positivo es porque los ha perdido.

Entre las partículas cargadas también se realizan fuerzas a distancia. El primer estudio cuantitativo de estas fuerzas lo realizó Coulomb en 1785, y tras numerosos experimentos obtuvo las siguientes conclusiones sobre la fuerza de interacción eléctrica entre dos cuerpos cargados:

1. Tiene la dirección de la recta que une los dos cuerpos.
2. Tiene sentido atractivo si las cargas son de signo distinto, y repulsivo si son del mismo signo.
3. Su intensidad es directamente proporcional al valor de las cargas de los cuerpos.
4. Su valor es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa los cuerpos cargados.

Precisamente en su honor, la unidad de carga eléctrica se llama culombio (C).

Puedes comprobar estos extremos con el siguiente simulador. La flecha indica la intensidad de la repulsión, mayor cuanto más cerca se encuentren las dos cargas, y su dirección y sentido hacia dónde se desplazaría la carga móvil si estuviese libre. Aunque el simulador no permite trabajar con cargas negativas, las conclusiones serían las mismas.

La ley de Coulomb

Coulomb expresó sus conclusiones en una ley de aspecto similar a la ley de Gravitación Universal de Newton.

$$F = K \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

donde q_1 y q_2 son los valores de las cargas, d la distancia que las separa y K una constante cuyo valor depende del medio en el que se encuentran las cargas ($9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$ en el vacío).

Importancia y validez de la ley de Coulomb

La ley de Coulomb es fundamental para explicar la estructura de la materia: la atracción entre el núcleo, positivo, y los electrones de la corteza, negativos; las fuerzas que unen los átomos para formar moléculas o estructuras iónicas y las propiedades de las sustancias formadas.

Pero tiene sus limitaciones, ya que solamente es válida para cargas puntuales o cuerpos esféricos que estén alejados entre sí; es decir, cuando el radio de los objetos es despreciable frente a la distancia que los separa.

Como has visto en el simulador, las fuerzas eléctricas son centrales, ya que los cuerpos que experimentan estas fuerzas se mueven en la dirección de la línea que une sus centros.

Interacciones eléctricas y gravitatorias

Estos dos tipos de interacciones fundamentales se parecen tanto por ser las dos fuerzas centrales como por su expresión formal, siendo inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia entre los cuerpos que interaccionan.

Pero hay diferencias muy notables.

1. Las interacciones gravitatorias dependen del producto de las masas y las eléctricas del producto de las cargas que interaccionan.

2. Las interacciones gravitatorias son universales, mientras que las eléctricas se dan solamente si los cuerpos tienen carga neta (no nula).
3. Las fuerzas gravitatorias son siempre atractivas, mientras que las eléctricas también pueden ser repulsivas, dependiendo del signo de las cargas.
4. La constante gravitatoria G es universal, mientras que la eléctrica K depende del medio en el que están los cuerpos que interactúan.
5. La constante eléctrica es del orden de 10^{20} veces mayor que la gravitatoria. Esto significa que las fuerzas eléctricas son mucho más intensas que las gravitatorias.
6. Los cuerpos siempre ejercen interacciones gravitatorias por el hecho de tener masa, tanto en reposo como en movimiento. Pero las cargas en movimiento, además de fuerzas eléctricas también producen interacciones magnéticas.

8.1 Fuerzas eléctricas

El principio de superposición

Si una carga está sometida a la acción de varias fuerzas independientes, producidas por cargas diferentes, la fuerza resultante que actúa sobre ella se obtiene sumando vectorialmente dichas fuerzas.

Lo más sencillo, si es necesario, es obtener las componentes de todas las fuerzas en los ejes X e Y, calcular las componentes totales y obtener finalmente la fuerza resultante a partir de esas componentes.

Fuerzas a escala atómica

Cuando los electrones se mueven en los átomos alrededor del núcleo, la situación se puede asimilar a una carga negativa que gira alrededor de una positiva. Por tanto, se manifiestan interacciones gravitatorias (debido a la masa del núcleo y de los electrones) y eléctricas (debido a su carga, negativa en un caso y positiva en el otro).

¿Cómo son los valores de esas fuerzas entre sí? ¿Son del mismo orden, y hay que tener en cuenta las dos, o una es mucho menor que la otra, y se puede despreciar?

Para saberlo, vamos a estudiar el caso más sencillo: el átomo de hidrógeno, con un protón en el núcleo y un electrón que gira alrededor de él a una distancia de $5,29 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ ($0,529 \text{ \AA}$) según el modelo de Bohr.

Fuerza eléctrica

Como las cargas de protón y electrón son del mismo valor ($1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$) pero de signo contrario, la fuerza entre las dos partículas es atractiva, y tiene un valor de:

$$F_e = K \frac{q_p q_e}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 \text{ C}^{-2} \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{(5,29 \cdot 10^{-11} \text{ m})^2} = 8,32 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

Fuerza gravitatoria

En este caso, la fuerza siempre es atractiva. Teniendo en cuenta los valores de las masas del protón y del electrón, tiene un valor de:

$$F_g = G \frac{m_p m_e}{r^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2} \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}{(5,29 \cdot 10^{-11} \text{ m})^2} = 3,63 \cdot 10^{-47} \text{ N}$$

Comparación de las dos fuerzas

Comparando los dos resultados, puedes observar que la fuerza eléctrica es nada menos que $2,27 \cdot 10^{39}$ veces mayor que la gravitatoria, que es absolutamente despreciable en comparación con ella.

Tema 6. Energía

En los dos temas anteriores has podido comprobar cómo el movimiento y las fuerzas están profundamente relacionados. El enfoque tomado fue estudiar la evolución de los sistemas dinámicos en función del tiempo; sin embargo, ésta no es siempre la manera más útil y sencilla de enfrentarse a un problema mecánico.

Muchas veces **resulta más conveniente estudiar la relación entre las fuerzas que actúan sobre el sistema y los cambios producidos en él por las mismas**. Esta aproximación exige la definición de una nueva magnitud, que llamaremos **energía**, relacionada con la capacidad que tienen los sistemas mecánicos para producir cambios en otros sistemas con los que interaccionan.



En este tema se plantearán las **formas de modificar el contenido energético de un sistema**, mediante trabajo de una fuerza o mediante calor, que se identificarán como energía "en tránsito", estableciendo una relación con conceptos como la potencia y el rendimiento de las máquinas que lo realizan.

Después estudiarás qué se entiende por energía mecánica, su ley de conservación y cuándo puede aplicarse, la diferencia entre fuerzas conservativas y no conservativas, los cambios energéticos producidos en el oscilador armónico y el concepto de potencial electrostático.

Todo ello te permitirá resolver, a partir del estudio de las transferencias de energía producidas, problemas que no podrían ser resueltos de forma sencilla mediante las leyes de la mecánica.

1. ¿Qué es la energía?

Ya has 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 o la red eléctrica, la **energía térmica**, relacionada con la temperatura a la que están los cuerpos, ...

Como sabes, **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.

¿Qué es la energía?

Es la capacidad que tiene un cuerpo para interaccionar y producir transformaciones en otros cuerpos o sobre sí mismo.

La energía se mide en **Julios (J)** en el Sistema Internacional.

Características de la energía

Existen distintos tipos de energía, pero todas ellas verifican una serie de características comunes:

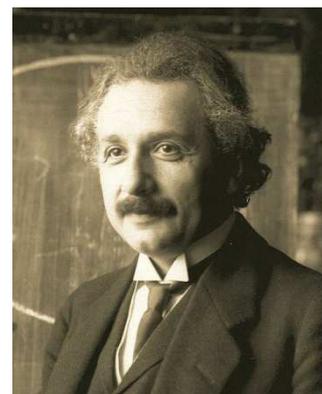
- La energía **se transfiere**. La energía puede pasar de unos cuerpos a otros, y **se transforma** de una forma a otra en el proceso.
- La energía **se conserva** en todos los procesos. Aun cuando la energía se transfiera en un proceso, la cantidad total existente es siempre constante. En otras palabras: "la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma".
- La energía **se degrada**. No toda la energía es igualmente aprovechable: mientras que se puede utilizar prácticamente toda la energía almacenada en una batería para hacer funcionar nuestro teléfono móvil, al quemar unas ramas de madera únicamente una pequeña fracción puede aprovecharse de forma útil. Mientras que muchas formas de energía pueden transformarse íntegramente en energía térmica, **la energía térmica no puede transformarse sino en pequeños porcentajes en otros tipos de energía**. Por ello se puede decir que la energía térmica es un tipo de energía degradada. El estado de degradación de una energía a nivel microscópico tiene que ver con el movimiento ordenado o no de las partículas que componen el sistema: cuanto más ordenado sea, más sencillo será convertir dicha energía en algún tipo útil.

Materia y energía

La física moderna ha demostrado que energía y materia están íntimamente relacionadas; de hecho, ambas son distintas manifestaciones de un mismo concepto, pudiéndose convertir materia en energía y viceversa. Fue Albert Einstein quien estableció la famosa ecuación que las relaciona:

$$E = mc^2$$

en la cual E es la energía, m la masa y c la velocidad de la luz en el vacío, que es constante e igual a 300000 km/s ($3 \cdot 10^8$ m/s).



Una consecuencia de esta relación es la posibilidad de obtener grandes cantidades de energía a partir de los procesos nucleares, como las reacciones de fisión (centrales nucleares) y de fusión (estrellas, bombas nucleares), en las que existe una pérdida de masa muy pequeña que se transforma en una cantidad enorme de energía.

Energía mecánica

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 gravitatoria**, relacionada con la posición que ocupan los cuerpos, y la **energía cinética**, que tiene que ver con su velocidad.

1.1 Trabajo y energía

En casos simples resulta sencillo predecir el comportamiento del sistema a partir de sus ecuaciones de movimiento y las leyes de Newton. Desgraciadamente, las fuerzas que gobiernan nuestro Universo no son siempre tan sencillas, ya que se trata generalmente de fuerzas cuyo valor depende de la posición; además, los sistemas dinámicos reales están formados por numerosos componentes a los que habría que aplicar este tratamiento, complicando extraordinariamente su resolución.



Para salvar estas dificultades se introduce el concepto de energía, que está relacionada con la capacidad de un sistema dinámico para producir transformaciones en otros cuerpos mediante la transferencia de energía, que puede transmitirse entre los sistemas de dos formas:

- Mediante la realización de **trabajo**.
- Mediante el intercambio de energía calorífica (**calor**).

Al buscar en el diccionario, impreso o en un sitio web, la palabra trabajo obtendrás distintas acepciones, tales como "*acción y efecto de trabajar*", "*esfuerzo humano aplicado a la producción de riqueza*" o "*dificultad, impedimento*". El concepto físico de trabajo, aunque parecido, no se corresponde exactamente con esta definición, ya que en el lenguaje suele confundirse el hecho de realizar un esfuerzo con hacer un trabajo.

De hecho, para que una fuerza realice un trabajo es necesario que produzca algún tipo de transformación mecánica, y ésta siempre lleva asociada un desplazamiento. Por lo tanto, es **necesario que exista un desplazamiento para poder hablar de trabajo**.

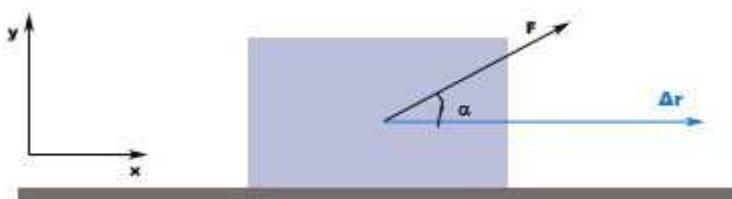
Trabajo y energía

Históricamente, se comienza a hablar de energía por parte del físico inglés T. Young a principios del siglo XIX como la capacidad de un sistema para realizar un trabajo. Esta definición se realiza a partir de los experimentos de este científico que demostraron que, cuando se realizaba un trabajo mecánico sobre un sistema, la energía del mismo aumentaba.

Así, cuando un objeto era capaz de realizar trabajo, contenía energía. Esta relación entre trabajo y energía implicaba que se trataba de la misma magnitud, y que por tanto debía medirse en las mismas unidades. Pero pronto se comprobó que un sistema no ganaba ni perdía energía únicamente mediante la realización de un trabajo mecánico, sino que también podía hacerlo a través de intercambios de calor con el entorno, por lo que unas décadas después el alemán H. Helmholtz definió la energía como "**Una propiedad que se manifiesta en las transformaciones que ocurren en la naturaleza**".

Definición de trabajo

Para definir matemáticamente el trabajo se necesita una fuerza F que actúe sobre un cuerpo produciendo un desplazamiento de su punto de aplicación Δr . La situación más sencilla es cuando la fuerza F es constante y el objeto se desplaza en línea recta sobre una superficie horizontal. En el caso general de que la dirección de la fuerza forme un ángulo α respecto a la dirección de desplazamiento, el esquema de la situación será tal y como se representa en la imagen.



Debido a que únicamente la componente de la fuerza que provoca movimiento realiza trabajo -en este caso es la componente sobre el eje x , $F_x = F \cos \alpha$ -, el trabajo mecánico realizado dependerá sólo de ella y podremos enunciar la definición de trabajo mecánico.

$$W = F \Delta r \cos \alpha$$

De la definición anterior puede deducirse que:

- Cuando la componente sobre el eje x de la fuerza aplicada tiene la misma dirección y sentido que el desplazamiento (ayuda al movimiento, acelera) o el ángulo entre la fuerza F y la dirección y sentido del desplazamiento es menor que 90° (por lo tanto $\cos \alpha > 0$), el trabajo es positivo ($W > 0$).
- Si la componente sobre el eje x de la fuerza aplicada tiene igual dirección pero sentido contrario al desplazamiento (se opone al movimiento, frena) o el ángulo entre la fuerza F y la dirección y sentido del desplazamiento es mayor que 90° (por lo tanto $\cos \alpha < 0$), el trabajo es negativo ($W < 0$).
- Cuando la fuerza es perpendicular al desplazamiento $\alpha = 90^\circ$, entonces $\cos \alpha = 0$ y $W = 0$. Por lo tanto, **una fuerza perpendicular al movimiento no realiza trabajo**.

Si el **trabajo es positivo** (se realiza sobre el sistema) sirve para **aumentar su energía**, mientras que si es negativo porque la fuerza se opone al desplazamiento, hace disminuir la energía del sistema.

Trabajo mecánico

Se denomina **trabajo mecánico (W)** realizado por una fuerza F que actúa sobre un cuerpo, al producto escalar de la fuerza (F) por el desplazamiento (Δr) experimentado.

$$W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r} = F \Delta r \cos \alpha = F_x \Delta r$$

La unidad de trabajo en el Sistema Internacional es el **Julio (J)**, definida como el trabajo realizado por una fuerza de 1 N cuando su punto de aplicación se desplaza 1 m en la misma dirección y sentido que la propia fuerza (1 J = 1 N m).

El trabajo no es una forma de energía, sino un método de transferir energía. Por esa misma razón no se puede hablar del trabajo contenido en un sistema.

El trabajo de varias fuerzas

Cuando sobre un cuerpo actúa más de una fuerza de forma simultánea, el trabajo realizado por la fuerza resultante, suma vectorial de todas ellas, es igual a la suma de los trabajos realizados por cada una de ellas por separado.

1.2 Calor y energía

Cuando se ponen en contacto dos cuerpos que se encuentran a distinta temperatura, se produce una transferencia de energía desde el cuerpo más caliente al más frío, de forma que el primero se enfría mientras que el segundo se calienta hasta que ambos alcanzan la misma temperatura. Esta transferencia se realiza entre sistemas sin que exista trabajo realizado.

Definición de calor

Se denomina **calor (Q)** al proceso de transferencia de energía entre dos sistemas a diferente temperatura sin que se realice ningún trabajo.

Conductividad térmica y sensación de frío o de calor

El concepto de calor como energía en movimiento permite explicar qué es lo que ocurre cuando se ponen en contacto dos sistemas que tienen distinta temperatura hasta que se alcanza la situación de equilibrio térmico.

Al entrar en contacto estos sistemas, se produce un intercambio de energía en forma de calor desde el sistema más caliente hasta el más frío, hasta que las temperaturas se igualan. Esto no quiere decir que en ese momento cese todo intercambio de calor -de hecho están produciéndose continuamente- sino que en promedio la energía intercambiada entre los sistemas es la misma, por lo que no se produce variación en la temperatura.

Cuando un sistema está en equilibrio térmico, todas sus partes tienen la misma temperatura; ahora prueba a tocar con una mano la mesa o un libro que tengas cerca y con la otra cualquier objeto metálico. ¿Cuál de los dos está más caliente?

Ambos están a la misma temperatura, pero entonces ¿por qué parece que el metal está más frío? La respuesta tiene que ver con una propiedad de la materia: la **conductividad térmica**. No todos los materiales conducen igual de bien el calor; concretamente, los metales conducen muy bien el calor y, por ello, el calor fluye rápidamente de nuestra mano al objeto metálico, y este calor extraído de nuestro cuerpo es lo que nos da la sensación de frío. La madera o el papel son malos conductores, y por ello el calor fluye más lentamente y parecen más calientes.



Pero el calor no se transmite únicamente mediante conducción, sino que existen otros mecanismos que ya conoces: la convección y la radiación.

Unidades de calor

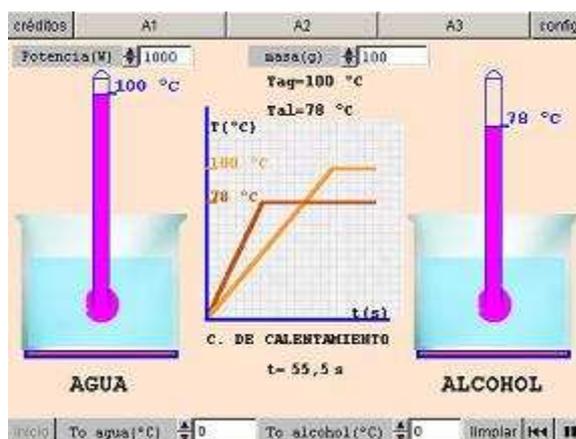
El calor se mide en el S.I. en **julios (J)**, pero también en **calorías (cal)**. Una caloría se define como la energía necesaria para elevar un grado la temperatura de un gramo de agua. La relación entre julio y caloría es $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$.

Calor y cambios de temperatura

Una experiencia clásica consiste en comunicar la misma cantidad de calor a dos recipientes que contienen igual masa de alcohol y agua.

Fíjate en la gráfica de la imagen: observa que el alcohol aumenta significativamente más rápido su temperatura, hasta que alcanza su temperatura de ebullición ($78 \text{ }^\circ\text{C}$), momento en el que cesa de aumentar. Lo mismo sucede con el agua, que se calienta más lentamente y tiene un punto de ebullición más alto.

Por tanto, es necesario introducir una nueva magnitud que exprese el diferente comportamiento de las sustancias al ser calentadas.



Si se transfiere una misma cantidad de calor a dos sistemas distintos, el aumento de temperatura experimentado por cada uno de ellos no es siempre el mismo, sino que depende de su naturaleza y composición. El parámetro que relaciona el incremento de la temperatura con el calor suministrado se denomina **calor específico (c_e)** de una sustancia, definido como la energía necesaria para calentar un kilogramo de una sustancia y elevar su temperatura un Kelvin o un grado Celsius. Es característico de cada sustancia y se mide en el S.I. en $\text{J}/(\text{kg K})$.

Ecuación de la calorimetría

La energía transferida a un cuerpo de masa m para que su temperatura pase de una inicial (T_i) a otra final (T_f) viene dada por la expresión:

$$Q = m c_e (T_f - T_i)$$

donde c_e es el **calor específico** de la sustancia.

Debido a que aparece una diferencia de temperaturas, se puede utilizar la escala Kelvin o la Celsius, ya que las dos son centígradas.

Calor y cambios de estado

Aparte del lógico aumento de la temperatura en los cuerpos, cuando se calienta un cuerpo pueden producirse cambios de estado. Al comunicar energía a una sustancia, según la teoría cinética de la materia aumenta la energía cinética de sus partículas, de forma que comienzan a moverse más rápidamente, siendo más probable que adquieran la energía necesaria como para vencer las fuerzas que las mantienen unidas, cambiando su configuración.

Cuando se calienta un sólido, las partículas que se encuentran en posiciones prácticamente fijas comienzan a vibrar con mayor amplitud y velocidad, hasta que se funde. Al alcanzar el punto de energía cinética máxima, la energía adicional se emplea en vencer las fuerzas que mantienen las partículas unidas entre sí, abandonando sus posiciones y pasando al estado líquido.



En este proceso de cambio de estado se produce un intercambio de calor, positivo en el caso de paso de sólido a líquido y negativo pero de igual valor que el anterior en el paso de líquido a sólido, que se utiliza en romper las uniones que mantienen unidas las partículas.

Calor latente de cambio de estado

Se denomina **calor latente (L)** a la energía intercambiada para producir el cambio de estado de un kilogramo de materia a temperatura constante (temperatura de cambio de estado):

$$Q = m L$$

El calor latente se mide en **J/kg**.

1.3 Potencia y energía

Cuando se compra un automóvil, uno de los factores que se tienen en cuenta para su elección es la potencia de su motor, que condiciona tanto su uso (arrastre de remolques, facilidad en los adelantamientos, etc...) como su coste (los impuestos varían en función de la potencia fiscal, directamente relacionada con ésta). En las competiciones del motor, la mayor parte de las veces las diferencias de potencia entre los vehículos participantes marcan la diferencia en el resultado de la carrera. Pero, ¿qué se entiende por potencia?



Para cualquier máquina en general no sólo es importante que pueda realizar un determinado trabajo sino que además éste debe poder realizarse en el mínimo tiempo posible. En otras palabras, casi resulta más importante conocer la rapidez con la que se transfiere la energía que la magnitud de ésta.

La potencia se introduce para poder **comparar la rapidez con la que las máquinas realizan un mismo trabajo**; así, un motor más potente será capaz de acelerar más rápidamente un vehículo que otro menos potente y será por tanto considerado más eficaz.

Definición y unidades de potencia

La magnitud que mide la rapidez con que se transfiere la energía se denomina **potencia (P)**.

La potencia se define como el trabajo realizado por unidad de tiempo:

$$P = \frac{W}{t}$$

La unidad de potencia en el Sistema Internacional es el **vatio (W)**, correspondiente a la realización del trabajo de un Julio en un segundo.

Dado que el vatio es una unidad demasiado pequeña como para resultar útil para expresar potencias habituales, se utilizan múltiplos de la misma, como el kilovatio (1 kW = 1000 W) o el megavatio (1 MW = 10⁶ W).

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

Potencia y velocidad

Existe una forma alternativa de escribir la potencia en función de la velocidad. Para calcularla, basta recordar cómo se definieron las magnitudes trabajo ($W = F \Delta r$) y velocidad ($v = \Delta r/t$) y operar sobre la definición de potencia:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{\vec{F} \cdot \Delta\vec{r}}{t} = \vec{F} \cdot \frac{\Delta\vec{r}}{t} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

Esta relación es válida para cualquier objeto en movimiento, y se reduce a **P=Fv** si la fuerza y la velocidad son de la misma dirección y sentido.

¿El kw/h?

El consumo eléctrico que aparece en la factura que nos envía la compañía eléctrica todos los meses se indica en kilovatios-hora (kWh).

Un error que se comete habitualmente es referirse a este dato como la potencia consumida (¿?), cuando realmente se trata de una medida de la energía consumida.

El kilovatio-hora también es una unidad de trabajo, cuya equivalencia en julios puede calcularse fácilmente:

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

2. Energía mecánica

La energía se puede presentar de diferentes formas. Una de ellas, la **energía mecánica** está relacionada con máquinas y movimientos.

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

Definición de energía mecánica

Se define la energía mecánica de un sistema como la suma de las energías cinética y potencial de las partículas que lo componen.

Energía cinética

Un cohete despegando, un automóvil moviéndose, una bala recién disparada o una manzana cayendo tienen energía cinética. Y, naturalmente, ¡también las vagonetas de las montañas rusas!

La energía cinética es la forma de energía asociada a la velocidad de un cuerpo. Según esto, **todo cuerpo en movimiento tiene energía cinética**, y esta energía puede ser transferida, tal y como se manifiesta cuando se produce algún cambio en el estado de movimiento del sistema que la posee. Al interactuar con otro



cuerpo en reposo, el sistema en movimiento pierde velocidad pudiendo transferir movimiento a otro cuerpo o bien producir transformaciones en él.

Definición de energía cinética

Puede definirse la energía cinética de un cuerpo como:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

donde **m** es la masa del cuerpo y **v** la velocidad a la que se mueve.

Puede observarse que la energía cinética depende del valor de la masa y, sobre todo, del cuadrado del valor de su velocidad. Esto tiene importantes consecuencias, y explica, por ejemplo, por qué la gravedad de los accidentes de tráfico aumenta rápidamente con la velocidad.

Tipos de energía potencial

En general, un cuerpo tiene energía potencial si puede realizar trabajo al cambiar de posición. A diferencia de la energía cinética, que era de un único tipo, existen distintos tipos de energía potencial:

- Energía potencial **gravitatoria**, que es la que tiene un cuerpo por encontrarse bajo la influencia de un campo gravitatorio (en nuestro caso el terrestre), siendo la fuerza de la gravedad la que realiza un trabajo sobre el cuerpo.
- Energía potencial **elástica**, asociada a la fuerza recuperadora de un muelle o dispositivo similar al deformarse.
- Energía potencial **eléctrica**, que es la que tiene un cuerpo con carga eléctrica por encontrarse bajo la influencia de un campo eléctrico, siendo la fuerza eléctrica del campo la que realiza trabajo sobre el cuerpo cargado.

Las energías potenciales **química** o **nuclear** se manifiestan de forma diferente, y no se van a considerar en este momento.

Energía potencial gravitatoria

Un cuerpo tiene energía potencial gravitatoria por el hecho de estar a una determinada distancia del centro de la Tierra (a una altura concreta sobre su superficie).

Piensa en que para elevar un cuerpo y separarlo del centro de la Tierra hace falta aportar energía y sólo hay que dejarlo caer para ver que esta energía “almacenada” puede transformarse en energía cinética.



Siempre se cumple que **cuando un sistema se encuentra aislado del entorno, tiende de forma espontánea a ocupar la posición de mínima energía potencial gravitatoria posible.**

Definición de energía potencial gravitatoria

La energía potencial gravitatoria de un cuerpo en la superficie de la Tierra viene dada por la expresión:

$$E_p = mgh$$

donde m es la masa del cuerpo, g es la aceleración de la gravedad ($9,8 \text{ m/s}^2$) y h la altura a la que se encuentra el cuerpo con respecto a una altura que se considera cero.

2.1 Energía cinética, energía potencial y trabajo

Energía cinética y trabajo

Como el trabajo realizado sobre un cuerpo modifica su velocidad, es posible relacionar trabajo y energía cinética: dado un **cuerpo de masa m** que se desplaza por una superficie horizontal sin rozamiento, sobre el que se aplica una **fuerza constante F** en el mismo sentido de desplazamiento, tenemos que:

- Según la ecuación del trabajo: $W = \vec{F}\Delta\vec{r} = F\Delta r$ (1)

- Según la segunda ley de Newton: $F = ma \Rightarrow a = \frac{F}{m}$ (2)

- Despejando el tiempo en la ecuación de la velocidad y sustituyéndolo en la de la posición del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado

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

$$v = v_0 + at$$

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0) = 2a\Delta r$$

$$v_f^2 - v_i^2 = 2a\Delta r \quad (3)$$

Ten en cuenta que la velocidad final v_f es v , y la inicial v_i es v_0 .

Despejando la aceleración expresada en la ecuación (2) en la última ecuación (3) obtenemos:

$$v_f^2 - v_i^2 = 2 \frac{F}{m} \Delta r \Rightarrow F\Delta r = \frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

y sustituyendo el trabajo por su expresión (1), se obtiene:

$$W = \frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

Según la definición dada para la energía cinética y la relación obtenida con el trabajo, puede escribirse:

$$W = E_{cf} - E_{ci}$$

Es posible generalizar la expresión obtenida para cualquier conjunto de fuerzas que actúan sobre un cuerpo, obteniendo lo que se conoce como **teorema de las fuerzas vivas** o **de la energía cinética**.

Teorema de las fuerzas vivas

La suma del trabajo realizado por las fuerzas que actúan sobre un cuerpo (o trabajo de la fuerza resultante) es igual a la variación experimentada por su energía cinética.

$$W_{total} = \Delta E_c = E_{c_{final}} - E_{c_{inicial}}$$

- Si se realiza trabajo sobre el cuerpo, $W > 0$, la variación de energía cinética experimentada es positiva y el cuerpo aumenta su energía cinética.
- Si el cuerpo realiza trabajo sobre su entorno, $W < 0$, la variación de energía cinética experimentada es negativa y el cuerpo disminuye su energía cinética.

Energía potencial gravitatoria y trabajo

Al igual que ocurre en el caso de la energía cinética, es posible encontrar una relación entre el trabajo realizado por una fuerza y la variación en la energía potencial gravitatoria. Si suponemos el caso particular de la elevación de un objeto, para conseguirlo hay que aplicar una fuerza de intensidad igual al peso (mg) pero hacia arriba, durante la distancia que está ascendiendo el cuerpo ($h_f - h_0$):

$$W = Fd = mg(h_f - h_0) = mgh_f - mgh_0$$

$$W = E_{p_f} - E_{p_0} = \Delta E_p$$



Se observa que **el trabajo realizado por la fuerza exterior es igual a la variación de la energía potencial gravitatoria del cuerpo en su desplazamiento**.

Hay que destacar que como el trabajo viene dado por la diferencia de posiciones (alturas), **es posible escoger arbitrariamente un nivel de referencia a partir del que calcular las alturas**. Generalmente se toma el nivel del suelo como referencia, pero puede tomarse cualquier otro sin ningún problema si así conviene por las condiciones de la situación que se está analizando.

Potencial gravitatorio

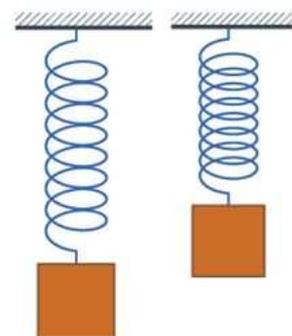
Se define como la energía potencial que tiene la unidad de masa, y que cerca de la superficie de la Tierra tiene un valor de:

$$V_g = \frac{mgh}{m} = gh$$

2.2 Fuerzas conservativas y no conservativas

Desde los comienzos de la ciencia se ha buscado lo que se conoce como "*móvil perpetuo*", una máquina o dispositivo que permanezca indefinidamente en su estado de movimiento sin necesidad de un aporte externo de energía.

Su descubrimiento supondría la esperanza de obtener una fuente inagotable de energía. Desgraciadamente, hoy en día sabemos que la existencia de este tipo de dispositivos es imposible, pues en el mundo real existen fuerzas, denominadas **disipativas** o **no conservativas**, cuyo trabajo transforma la energía mecánica en otros tipos de energías más degradadas y por tanto menos útiles, provocando que la energía mecánica del sistema vaya disminuyendo y finalmente se agote.



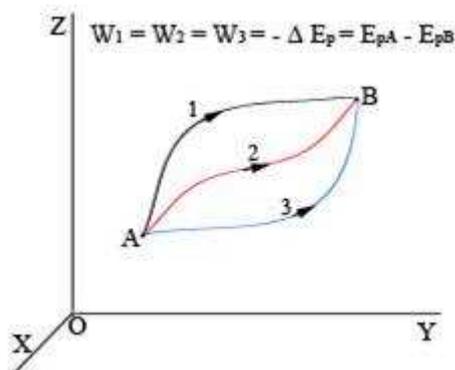
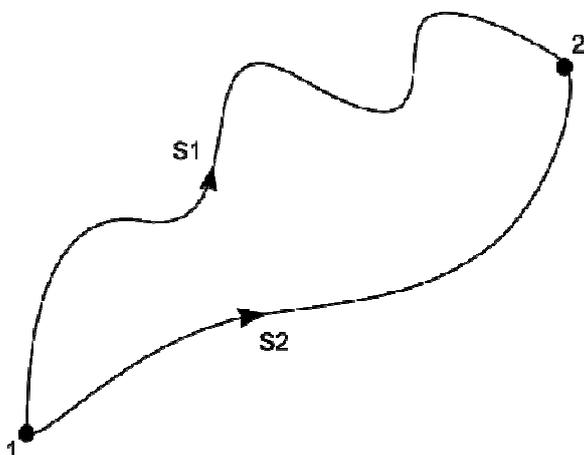
Puedes observar el efecto de una fuerza disipativa en la oscilación de un muelle.

Fíjate en que mientras las oscilaciones del muelle de la izquierda son constantes, el de la derecha va amortiguándose. El primero corresponde a un movimiento ideal sin rozamiento, en el que se conserva la energía mecánica, mientras que en el caso del segundo actúa una fuerza no conservativa que provoca que su energía mecánica vaya disminuyendo.

Las **fuerzas de rozamiento son un ejemplo de fuerzas no conservativas**, y son las que provocan que, por ejemplo, la vagoneta desplazándose en la montaña rusa no siga moviéndose indefinidamente y sea necesario el trabajo de un motor para devolverla a su posición inicial. El trabajo realizado por estas fuerzas (negativo siempre por oponerse éstas al movimiento) hace disminuir la energía mecánica, que se transforma en energía térmica, pero conservándose la cantidad total de energía.

Energía potencial y fuerzas conservativas

Se dice que una fuerza es conservativa cuando es nulo el trabajo que realiza sobre un cuerpo que describe una trayectoria cerrada. Equivale a decir que el trabajo realizado por la fuerza entre dos puntos cualesquiera es independiente de la trayectoria, y solamente depende de cuáles son esos puntos, de la posición inicial y final.



También se dice que una fuerza es conservativa cuando su trabajo se puede evaluar como la diferencia entre los valores que adopta una cierta función, llamada energía potencial, calculada en los puntos inicial y final.

$$W_{Fc} = E_{potencial}(A) - E_{potencial}(B) = -\Delta E_{potencial}$$

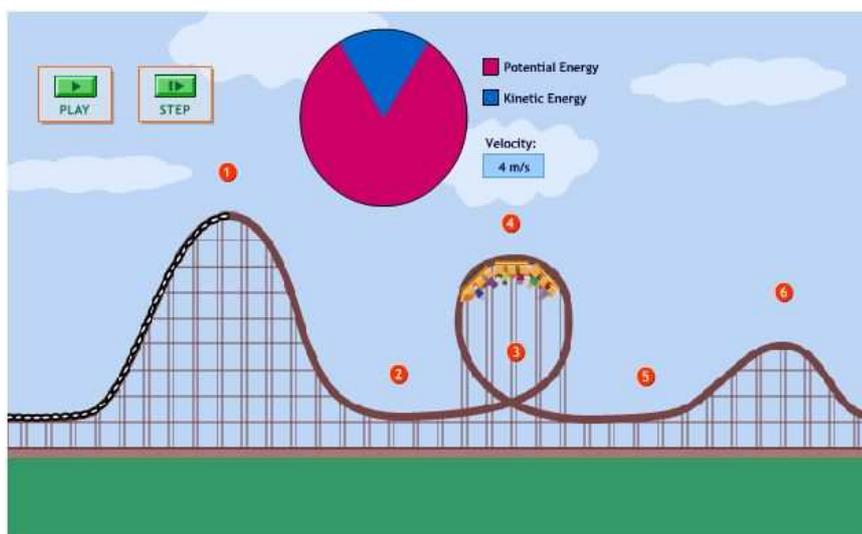
3. Principio de conservación de la energía

Energía mecánica en la montaña rusa

La expresión desarrollada de la energía mecánica resulta ser:

$$E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2}mv^2 + mgh$$

Observa la siguiente simulación, que reproduce el movimiento de una vagoneta en una montaña rusa. Puedes realizar el trayecto completo con el botón *PLAY* o bien paso a paso con el botón *STEP*:



Puedes ver cómo la energía aumenta en el primer trayecto de subida (etapa 1) y desde allí permanece constante, cambiando, eso sí, de tipo, entre el máximo de energía potencial (1) y el máximo de cinética (2), y con puntos intermedios (3), (4), (5) y (6) en los que coexisten ambos tipos de energía, siendo su suma constante e igual a la energía mecánica total del sistema.

En una montaña rusa típica, como la que puedes ver en el parque de Wonderland (Toronto), la vagoneta asciende mediante una cremallera hasta el punto de máxima elevación y, a partir de allí, se deja que describa el circuito sin necesidad de aplicar ningún trabajo sobre ella. En el transcurso de su viaje, puede observarse cómo la velocidad aumenta al descender, disminuyendo al ascender, de forma que la máxima velocidad se presenta en el punto de menor altitud.



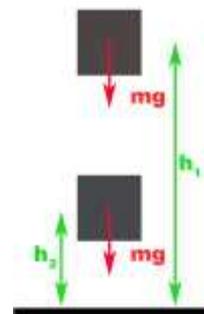
Este comportamiento puede explicarse en términos energéticos como una conversión entre las dos componentes de la energía mecánica: cinética y potencial. Así, en el punto más alto de la trayectoria, su energía cinética es cero y toda la energía mecánica está almacenada en forma de energía potencial. Conforme descende, 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 mecánica está almacenada como energía cinética.

Si no existieran rozamientos, la vagoneta continuaría indefinidamente su movimiento, ya que no existirían pérdidas energéticas. En la vida cotidiana esto no es cierto, pero al idealizar la situación nos permite solucionar problemas complejos con gran facilidad.

Conservación de la energía mecánica

Cuando **una magnitud permanece constante**, se dice que dicha magnitud **se conserva**. Este es el caso de la energía mecánica.

Para comprobarlo, fíjate en el caso de un cuerpo en caída libre desde la posición 1 a la posición 2, despreciando el rozamiento con el aire. La única fuerza que actúa sobre el cuerpo es su peso, y al caer su energía potencial gravitatoria disminuye al ser menor la altura; es decir, el trabajo realizado por el peso hace disminuir la energía potencial gravitatoria del cuerpo. Pero como el trabajo es positivo (peso y desplazamiento van los dos hacia abajo, en la misma dirección y sentido) y la variación de energía potencial es negativa:



$$W_{1 \rightarrow 2} = -\Delta E_p = -(E_{p2} - E_{p1}) = E_{p1} - E_{p2}$$

Fíjate en que el signo negativo proviene de que el trabajo realizado por la interacción gravitatoria disminuye la energía potencial del cuerpo. Es decir, **la fuerza gravitatoria es conservativa**.

Pero, por otro lado, al caer el cuerpo va aumentando su energía cinética. Según el teorema de las fuerzas vivas, se puede afirmar que:

$$W_{1 \rightarrow 2} = \Delta E_c$$

Conservación de la energía mecánica

Si sobre un sistema actúan solamente fuerzas conservativas su energía mecánica permanece constante: si no existe rozamiento, no existe la pérdida de la energía necesaria para vencerlo.

Por ser una fuerza: $W = \Delta E_c$

Por ser una fuerza conservativa: $W = -\Delta E_p$

$$\Delta E_c = -\Delta E_p; \quad \Delta E_c + \Delta E_p = 0; \quad \Delta E_m = 0$$

3.1 Principio general de conservación de la energía

Es posible obtener una expresión matemática para el principio de conservación de la energía como extensión del de la energía mecánica, teniendo en cuenta que se puede agrupar todas las fuerzas en una de las dos categorías: conservativas y no conservativas.

$$F = F_c + F_{nc} \Rightarrow W_F = W_{Fc} + W_{Fnc}$$

$$W_F = \Delta E_c; \quad W_{Fnc} = -\Delta E_p$$

$$\Delta E_c = -\Delta E_p + W_{Fnc}$$

$$W_{Fnc} = \Delta E_c + \Delta E_p = \Delta E_m$$

Trabajo de las fuerzas no conservativas y variación de energía mecánica

Cuando sobre un sistema aislado actúan tanto fuerzas conservativas como no conservativas, se verifica que la variación de la energía mecánica es igual al trabajo realizado sobre el mismo por las fuerzas no conservativas.

$$\Delta E_m = W_{nc}$$

En el caso de fuerzas de rozamiento, como éstas se oponen al movimiento, el trabajo será negativo y se producirá una disminución de la energía mecánica.

Asimismo, si no existen fuerzas no conservativas, su trabajo será nulo y el incremento de la energía mecánica valdrá cero, lo que muestra que esta expresión es más general que el principio de conservación de la energía mecánica.

3.2 Rendimiento de una máquina

En los casos ideales no se producían pérdidas de energía, pero en las máquinas reales la transformación de la energía consumida no se realiza de forma íntegra en trabajo útil. Esto se debe, sobre todo, a la existencia de fuerzas de rozamiento, ya sea entre las partes constituyentes de la máquina o con el ambiente que la rodea (fuerzas no conservativas).

Dado que se trata de **pérdidas energéticas**, se verificará siempre que **el trabajo útil será menor que la energía suministrada**, y esta energía disipada lo hará en forma de calor.

Como a partir de la energía térmica en que se transforman las pérdidas energéticas es más difícil obtener energía, **se pierde calidad de la energía** en este tipo de procesos: aunque se conserva la cantidad, se degrada y se transforma en energía poco útil.

Rendimiento de una máquina

Se denomina **rendimiento (η)** de una máquina al cociente entre el trabajo útil que proporciona y la energía que se le ha suministrado y consumido. Este rendimiento suele expresarse en tanto por ciento:

$$\eta = \frac{\text{trabajo útil}}{\text{energía consumida}} \cdot 100$$

Análogamente es posible expresarlo como la relación entre la potencia útil y la potencia teórica de la máquina:

$$\eta = \frac{\text{potencia útil}}{\text{potencia teórica}} \cdot 100$$

Dado que la energía suministrada siempre será mayor que el trabajo útil obtenido, el rendimiento siempre será menor del 100% y su valor estará comprendido entre 0% (cuando toda la energía sea disipada y no se obtenga ningún trabajo) y 100% (si la conversión es total y toda la energía se transforma en trabajo).

En la vida real una máquina que realice trabajo con un rendimiento del 100% no es posible, pues siempre se producen pérdidas por disipación de calor.

Observa la siguiente animación en la que se explica el rendimiento en un proceso tan simple como elevar un cubo de agua de un pozo.

3.3 Calor y trabajo

Hay dos formas de aumentar o disminuir la energía de un sistema:

1. Mediante la realización de un trabajo (W)

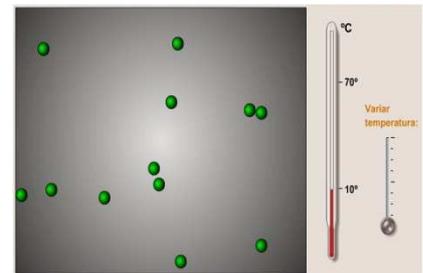
Fíjate en la jeringuilla clínica de la imagen, a la que se ha obturado la boca para que no pueda escapar el gas contenido en su interior. Si ahora empujas el émbolo presionando, el gas se comprime. El sistema termodinámico ha cambiado sus variables, ahora la presión es mayor y el volumen es menor. De hecho, la energía del sistema ha aumentado, como podemos comprobar si dejamos en libertad el émbolo, momento en el que se desplazará en sentido contrario hasta recuperar su posición inicial. La situación es similar a la compresión de un muelle.



2. Mediante el intercambio de calor (Q)

Otra forma más común para intercambiar energía entre sistemas es a través de su calentamiento: cuando se ponen en contacto dos sistemas a diferente temperatura se produce una transferencia de energía en forma de calor del cuerpo más caliente hacia el más frío. Este mecanismo es el utilizado para cocinar o calentar una habitación. También en el proceso de cambio de estado debe transferirse calor para que éste se produzca.

Cuando se transfiere energía en forma de calor, éste se transmite en forma de choques a escala de partículas, provocando, como ya sabes, el movimiento desordenado de las partículas del sistema. Fíjate en lo que sucede al calentar un gas.



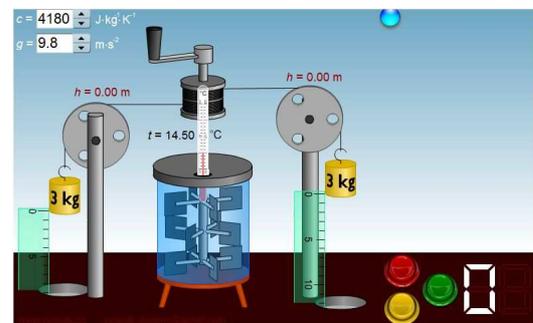
Intercambio de energía entre sistemas

Puede realizarse de dos formas:

- En forma de **trabajo** cuando alguna fuerza provoca un desplazamiento.
- En forma de **calor** cuando existe diferencia de temperaturas o se produce un cambio de estado.

Equivalente mecánico del calor

La transferencia de energía de una u otra forma es equivalente, tal y como demostró a mediados del siglo XIX el inglés J. Joule, demostrando en su experiencia que la realización de un trabajo podía aumentar la temperatura de un sistema térmicamente aislado en su famoso experimento, que puedes simular en el siguiente experimento.



En ella se transforma la variación de la energía potencial de las masas al caer en trabajo de rotación de una pala, que a su vez la transmite al sistema como movimiento de sus partículas y el consiguiente incremento de temperatura.

La caloría y el julio

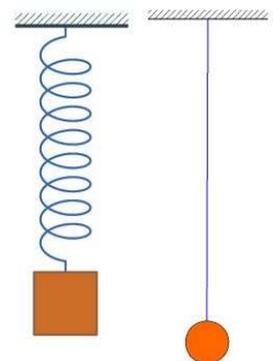
Mediante el experimento de Joule se demuestra que se transfiere una energía de una caloría por cada 4,18 julios de variación de energía mecánica, que sirve para aumentar la temperatura del sistema.

$$1 \text{ caloría} = 4,18 \text{ julios}$$

4. Energía en el oscilador armónico

¿Qué es un oscilador armónico? Se trata simplemente de un mecanismo que se mueve realizando oscilaciones entre dos puntos cada cierto tiempo fijo (periodo T), repitiendo las características de su movimiento (posición, velocidad, aceleración, energía potencial gravitatoria y energía cinética).

Los dos ejemplos más típicos son un muelle que oscila o un péndulo.

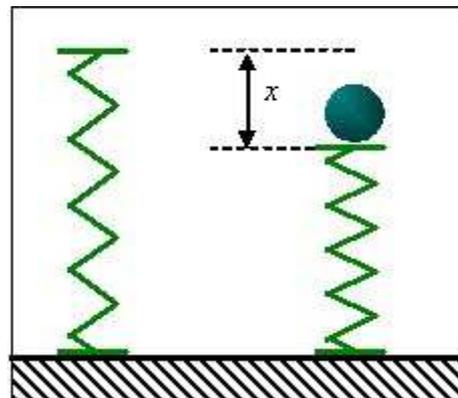


Energía potencial elástica

Al comprimir o alargar un muelle se realiza trabajo, que se transforma y queda almacenado en el mismo en forma de energía potencial elástica.

Al igual que ocurría con la energía potencial gravitatoria, el trabajo coincide con el trabajo mecánico necesario para deformar el muelle de la posición inicial de equilibrio a la final, lo que se conoce como elongación del muelle.

Para deformar el muelle es necesario realizar una fuerza F de igual dirección y sentido contrario a la fuerza de restitución del mismo peso (que viene dada por la ley de Hooke que ya estudiaste $F=kx$).



Cuando se realiza fuerza sobre un muelle, comprimiéndolo o estirándolo, se almacena energía en él, ya que al soltarlo tiende a recuperar su situación inicial. Esa energía se llama potencial elástica.

Energía potencial elástica

La energía potencial elástica almacenada en un muelle o resorte toma el valor:

$$E_{pe} = \frac{1}{2}kx^2$$

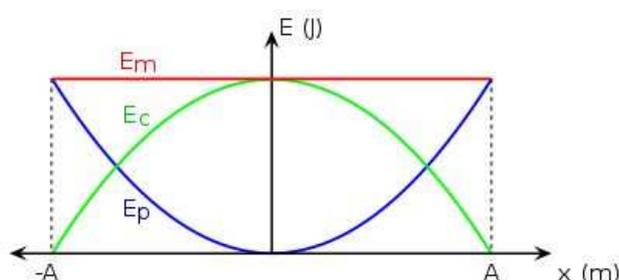
donde k es la constante elástica del muelle y x la elongación (deformación) del mismo.

Energía mecánica en el oscilador lineal

Si observas la oscilación del muelle, verás que cuando el bloque que oscila se encuentra en las posiciones de máximo estiramiento o compresión (amplitud de oscilación, A), el bloque se para instantáneamente, con lo cual su energía cinética es nula. Pero en esos momentos su energía potencial es máxima, ya que la elongación x también lo es.

La fuerza restauradora es conservativa, por lo que se conserva la energía mecánica. Fíjate en la gráfica siguiente, en la que se representan los valores de las energías potencial, cinética y mecánica durante la oscilación.

Puedes observar que la energía potencial (línea azul) es máxima en los extremos de la oscilación y mínima en el punto de equilibrio, mientras que los valores de la energía cinética varían justo al revés (línea verde), ya que el muelle se para justo en los extremos, y es en el centro donde se mueve más rápidamente.



Pero la energía mecánica total es constante (línea roja), ya que no hay pérdidas energéticas de ningún tipo.

Las expresiones de los tres tipos de energía son:

$$E_{potencial} = \frac{1}{2}kx^2$$

$$E_{cinetica} = \frac{1}{2}k(A^2 - x^2)$$

$$E_{mecanica} = \frac{1}{2}kA^2$$

donde k es la constante elástica, x la elongación (separación de la posición de equilibrio) y A la amplitud de la oscilación (elongación máxima).

5. Energía potencial electrostática

Ya sabes que cuando dos masas están cerca, se atraen por acción de una fuerza gravitatoria y tienden a acercarse. Como actúa una fuerza durante un determinado desplazamiento, se realiza un trabajo.

Algo similar sucede cuando son dos cargas las que interactúan, con la diferencia de que puede haber atracción o repulsión, según cuál sea el signo de las dos cargas.

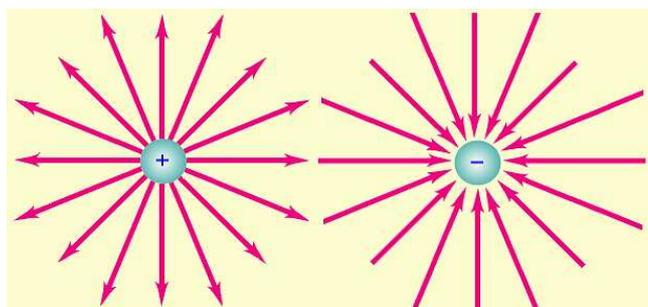
En estos casos de fuerzas centrales (gravitatorias o electrostáticas) surge una dificultad que no se ha tenido en cuenta, y es que **las fuerzas de interacción no son constantes**, ya que dependen de la distancia y esto supone que el tratamiento matemático para resolver la situación es más complejo, y no se realiza hasta la Física de 2º de Bachillerato.

El resultado obtenido para la energía potencial electrostática es:

$$E_{pe} = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

siendo q_1 y q_2 los valores de las dos cargas y r la distancia que las separa.

Si esa distancia es muy grande (tiende a infinito) las dos cargas no interactúan, y su energía potencial es nula. Si son cargas del mismo signo que están cerca, al liberarlas se repelen, disminuyendo su energía potencial al alejarse a la vez que aumenta la cinética. Y dado que **las interacciones electrostáticas también son conservativas**, la energía mecánica se conserva.



Potencial electrostático

De forma similar al caso de las interacciones gravitatorias, se puede definir el potencial electrostático como **la energía potencial electrostática por unidad de carga**. Si se considera que q_1 es la carga fija y q_2 la que estudiamos cómo interacciona:

$$V = \frac{E_{pe}}{q_2} = K \frac{q_1}{r}$$

Como la energía potencial se refiere por unidad de carga positiva ($q_2 = 1 \text{ C}$), su potencial tendrá el signo de q_1 . Fíjate en que si q_1 es positiva, la unidad de carga se desplazará por repulsión hacia afuera, desde una zona de mayor potencial a otra de menor, mientras que una carga negativa (un electrón por ejemplo) se movería justo al revés.

Hay que tener en cuenta que los potenciales son magnitudes escalares, y que se suman algebraicamente: si hay varias cargas que producen interacciones eléctricas, el potencial en un punto es la suma de los potenciales que crearían cada una de las cargas si estuvieran solas (**principio de superposición**).

Diferencia de potencial y trabajo

Si se tiene que desplazar la unidad de carga positiva desde un punto de potencial V_1 a otro de potencial V_2 , mayor que V_1 , es necesario realizar un trabajo que suponga ese aumento de energía, es decir, aplicar una fuerza F durante la distancia r que separa las cargas.