

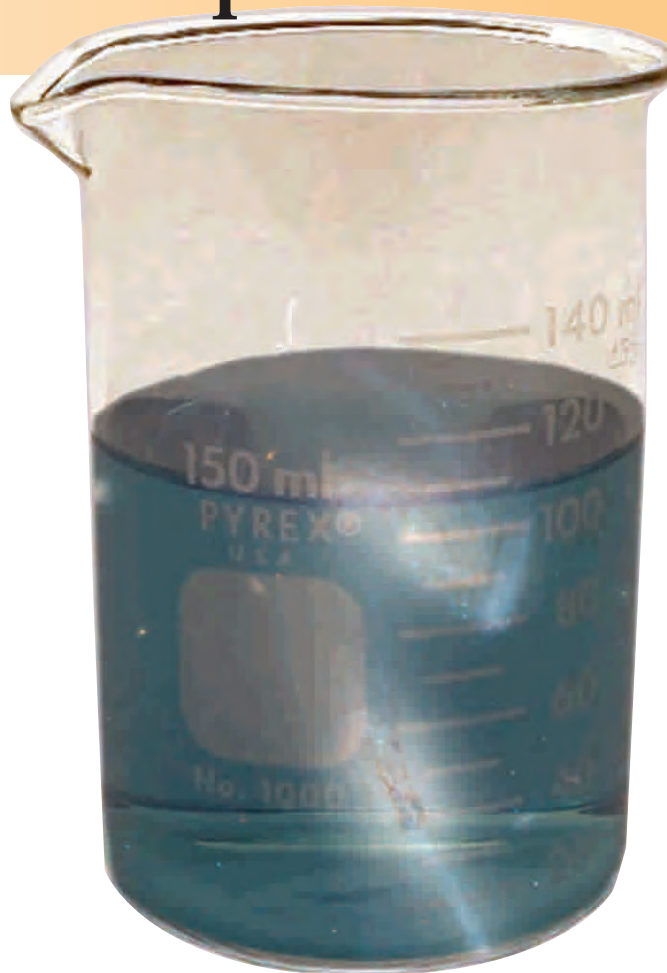
# El mundo de la química

## Las transformaciones químicas

### Del Universo al Sistema

El Universo es inmenso, aún sabemos muy poco de él. En realidad, nuestra atención solamente se centra en una porción del Universo donde queremos realizar algunas mediciones o algunas experiencias. A la porción específica del Universo que decidimos estudiar la llamaremos “sistema”, a todo aquello que la rodea “entorno” y a la suma de ambas partes: el Universo. A menos que se logre aislar totalmente al sistema con respecto a la propiedad que se desea observar o medir, éste siempre interaccionará, en mayor o menor grado, con su entorno. El sistema escogido debe ser caracterizado y delimitado de modo inequívoco; de esta forma sabremos a qué nos estamos refiriendo. La precisión en la caracterización del sistema es ante todo una manera de simplificar el estudio.

Si escogemos como sistema el líquido presente en un vaso, debemos decir cuál es su naturaleza, si está puro o es una disolución. Si es una disolución, hay que señalar cuáles son los solutos y cuál es la concentración de cada uno en esa disolución. Hay que informar el volumen, la masa, la temperatura y otras propiedades físicas y químicas que ayuden a caracterizarlo. Para delimitarlo sirven el vaso y la superficie del líquido. Obviamente, este sistema interacciona con el medio, así por ejemplo, si lo metemos en una nevera el sistema perderá energía por la disminución de la temperatura.



# Un mundo de moléculas

Sea cual sea nuestro sistema escogido, estará compuesto por materia y energía y lo formarán entidades que son partículas o unidades materiales (moléculas, átomos, iones, electrones, protones, neutrones) e inmateriales como fotones, etc.

Los átomos rara vez se encuentran solos. Igual ocurre con las partículas con carga (iones y electrones, entre otras). Los átomos y los iones tratarán de agruparse formando moléculas de tamaño variable. Algunas de esas moléculas, como las de los gases conocidos, son microscópicas e invisibles al ojo humano, pero otras, menos convencionales, llegan a ser gigantes y observables a simple vista, como ocurre con los cristales y los polímeros.

Constelación de Orión



114

Comic: *La química y la vida*.  
Autor: Expoquímica.  
Feique. Madrid, 2002.



*Los átomos y las moléculas son lo único que tienen el hombre y la naturaleza para hacer las cosas. Su herramienta es la química.*

## Un mundo cambiante

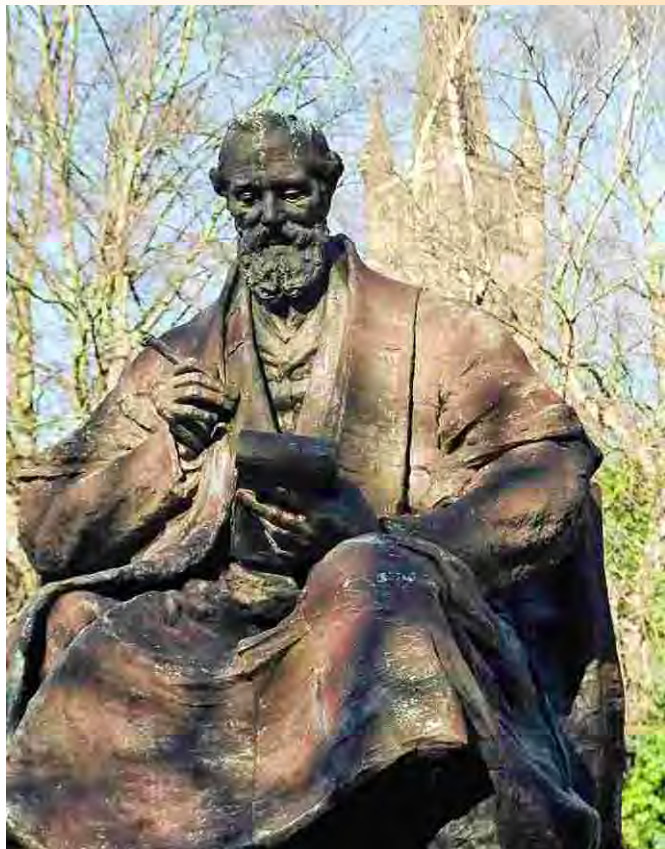
En la naturaleza continuamente ocurren cambios. Las plantas verdes absorben dióxido de carbono y agua para producir oxígeno y azúcares. Los químicos transforman compuestos provenientes del carbón y del petróleo en miles de otros compuestos. Las sustancias reaccionantes se convierten en productos. Los materiales se transforman, natural o artificialmente, para producir nuevos materiales. Átomos, iones, electrones, fotones y, sobre todo, las moléculas son los protagonistas de estos cambios.

Las variaciones de energía que ocurran en los sistemas y sus entornos (a las cuales nos referiremos en otro fascículo), o de entropía en el universo, dirigirán el sentido de los cambios.

Cristales artificiales obtenidos de la transformación del bismuto (Bi)



# Visión cualitativa de la correlación macro-micro. La clave: Su indispensable estructura

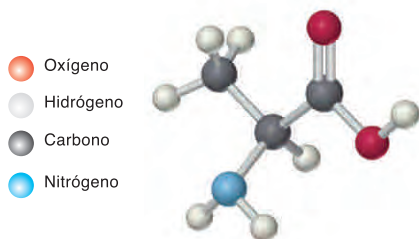


Los materiales que conocemos son mayormente mezclas. Esas mezclas están formadas por sustancias cuyas propiedades determinan cómo deben ser las entidades que las forman y cómo éstas están organizadas. Por ejemplo, si una sustancia conduce la corriente eléctrica, las entidades que las forman deben tener cargas eléctricas que se muevan sin dificultad. Por todo esto es muy importante conocer la composición y estructura de cada entidad, especialmente la de las moléculas.

William Thomson (Lord Kelvin, 1824-1907) estuvo convencido de que fenómenos tales como la electricidad, el magnetismo, el calor (que por muchos años se explicaron asumiendo la existencia de fluidos) eran más bien la consecuencia de la existencia de un material invisible en movimiento.

115

Esta estatua de Lord Kelvin se encuentra ubicada frente a la Universidad de Glasgow, Inglaterra, en la cual fungió de vice-rector.



Fórmula estructural de la alanina (aminoácido)

Cada molécula está formada por uno o más átomos. Los tipos de átomos y el número de átomos de cada tipo dentro de una molécula constituyen su fórmula molecular. Estos átomos se enlazan entre sí de acuerdo con una secuencia y la representación espacial de la misma lleva a la fórmula estructural.



Amplificador del espectro físico regenerado.  
Fuente: [www.phy.hw.ac.uk/resrev/nlo/pump-probe.html](http://www.phy.hw.ac.uk/resrev/nlo/pump-probe.html)

La fórmula molecular es una expresión cualitativa (qué tipo de átomos) y cuantitativa (cuántos de cada tipo) de la unidad estructural. En ocasiones, se da el caso de que dos o más sustancias tienen la misma fórmula molecular, sin embargo, poseen estructuras diferentes que les confieren propiedades totalmente distintas. A este fenómeno se le llama **isomería**. Cuando se determina la fórmula estructural de cada una, se explican las diferencias. Los químicos disponen hoy en día de diversos recursos, como la espectroscopía, para determinar estructuras.

# Las fórmulas químicas

Fórmula molecular	Fórmula estructural (representación plana: dos dimensiones)	Fórmula estructural (representación espacial: tres dimensiones)	Nombres y propiedades
$C_2H_6O$	<p><math>CH_3-CH_2-OH</math></p>		<b>Alcohol etílico</b> Su temperatura de ebullición estándar, a presión de 1 atm, es 78 °C, por lo que es un líquido a temperatura ambiente. Sus moléculas se atraen con cierta fuerza debido a puentes de hidrógeno que se establecen entre los oxígenos de una molécula y los hidrógenos, unidos al oxígeno, de otra. Por esa razón es muy soluble en agua.  Este alcohol es el que se encuentra en las bebidas alcohólicas producto de la fermentación del azúcar.
$C_2H_6O$	<p><math>CH_3-O-CH_3</math></p>		<b>Éter metílico</b> Su temperatura estándar de ebullición, a presión de 1 atm, es -24 °C, por lo que es un gas a temperatura ambiente, e indica que las fuerzas de atracción entre sus moléculas es muy débil. No forma puentes de hidrógeno, sin embargo, es soluble en agua pues pueden formarse puentes entre los oxígenos del éter y los hidrógenos del agua. Éste no es el éter que se utiliza como anestésico en las operaciones.

En la representación plana se dibujan todos los átomos en un mismo plano (el del papel). La mayoría de las moléculas no son planas, de hecho, estas dos no lo son. En la representación espacial las líneas de enlace continuas indican los átomos que se encuentran en el mismo plano. Las punteadas terminan en los átomos que están por debajo del plano del papel y forman un ángulo de 54,5 ° con él. Las otras líneas terminan en los átomos que se encuentran por encima del plano del papel. Forman el mismo ángulo de 54,5 °.

En ocasiones es difícil precisar el número de átomos que se agrupa. Un ejemplo sencillo es el del cloruro de sodio. Esta sustancia no está integrada por moléculas convencionales. Primero, porque no está formada por átomos (Na y Cl) sino por iones ( $Na^+$  y  $Cl^-$ ). Además, cada ión se rodea por un número de iones de carga contraria (seis en el caso del cloruro de sodio), por lo que se establecen estructuras sólidas formadas por un número inmenso de entidades ordenadas, en suma, un cristal. Así, cuando se escribe la fórmula NaCl no debe leerse como una unidad material que está integrada por un  $Na^+$  y un  $Cl^-$ , sino por un número variable de estos iones, pero en igual cantidad de ambos y en una relación de 1:1.

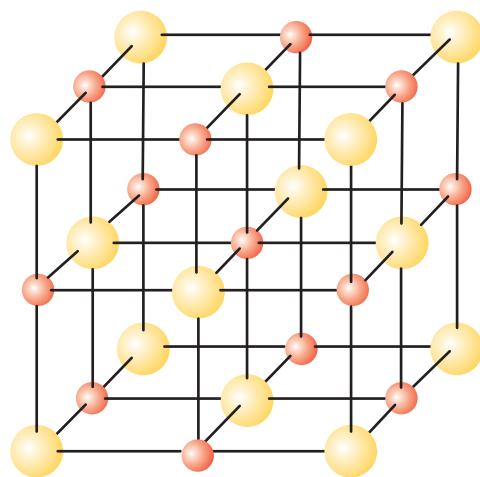


Ilustración de la celda unidad del cloruro de sodio

- Ión cloruro ( $Cl^-$ )
- Ión sodio ( $Na^+$ )

# Visión cuantitativa de la correlación macro-micro. La clave: El prodigioso mol



En el capítulo II aclaramos que las propiedades y fenómenos macroscópicos que observamos no son producidos por una molécula, sino por cuatrillones ( $10^{24}$ ) de ellas. Las propiedades que observamos en un sistema dependen tanto del tipo de entidades que los forman como del número de las mismas. El color, el sabor, la textura, la fusión y la dureza no se alcanzan a percibir si no están presentes cantidades inmensas de entidades.

¿Sabes cuántas moléculas hay aproximadamente en una cucharada de agua?

¡ $5 \times 10^{23}$ !

Presentar la cantidad de sustancia en moléculas de agua es muy poco conveniente, es preferible expresarla en cuatrillones, para lo cual sólo debemos dividir por  $1 \times 10^{24}$ :

$5 \times 10^{23}$  moléculas / ( $1 \times 10^{24}$ ) = 0,5, es decir medio cuatrillón de moléculas de agua en una cucharada.

En química se prefiere expresar la cantidad de sustancia en moles más que en cuatrillones de partículas. Para ello basta con dividir el número de entidades entre un número muy cercano a un cuatrillón:  $6,02 \times 10^{23}$  (0,602 de cuatrillón).

$5 \times 10^{23}$  moléculas / ( $6,02 \times 10^{23}$ ) = 0,8 mol de moléculas de agua en una cucharada de agua.

117



Moléculas de sal vistas a través de un microscopio

$6,02 \times 10^{23} = 602\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$ .

Para no volver a escribir este número gigantesco, lo sustituiremos por el símbolo  $N_A$  (número de Avogadro). Así, escribiremos:

$$N(\text{entidad}) / N_A = n(\text{entidad})$$

donde  $N$  representa al número de entidades y  $n$  a la cantidad de entidades expresada en la unidad mol.

A la cantidad de sustancia que contiene un número de entidades ( $N$ ) igual a  $N_A$  la llamamos mol. Esas entidades pueden ser moléculas, átomos, iones, electrones...

Una molécula de dicloro ( $\text{Cl}_2$ ) se forma a partir de dos átomos de cloro ( $\text{Cl}$ ). Luego, en cualquier cantidad de la sustancia química que llamamos cloro,  $n(\text{Cl}_2)$ , habrá una cantidad de átomos,  $N(\text{Cl})$ , que será el doble de la cantidad de moléculas,  $N(\text{Cl}_2)$ .

$$N(\text{Cl}) = 2 N(\text{Cl}_2)$$

Si divides entre  $N_A$  ambos miembros de la igualdad anterior, llegarás a:

$$n(\text{Cl}) = 2 n(\text{Cl}_2)$$

Si este número de moléculas,  $N(\text{Cl}_2)$ , fuese igual a  $N_A$ , entonces la cantidad de sustancia,  $n(\text{Cl}_2)$ , sería 1 mol. De igual manera, si  $N(\text{Cl}_2)$  fuese igual a  $3 N_A$ , la cantidad de sustancia,  $n(\text{Cl}_2)$ , sería 3 mol.

# Apoyo didáctico

Entre los números de entidades se pueden establecer relaciones de igualdad, como se acaba de hacer, pero no entre las entidades mismas.

Es importante que el profesor procure la interpretación correcta del lenguaje químico. Por ejemplo, es frecuente decir que una molécula de dicloro está formada por dos átomos de cloro. Pero es incorrecto señalar que una molécula de cloro es igual a dos átomos de cloro. Hay que insistir en que átomos y moléculas de cloro son entidades diferentes. De ser lo mismo, estaríamos omitiendo el enlace entre los átomos que le confiere más estabilidad a la molécula que a los átomos por separado. Por tanto, cuando una molécula es separada en sus átomos, no es como partir una manzana en dos, donde obtenemos dos medias manzanas. ¡No! Lo que se obtiene son dos entidades con propiedades muy diferentes a las de la entidad de la cual se originaron.



118

## Para pensar

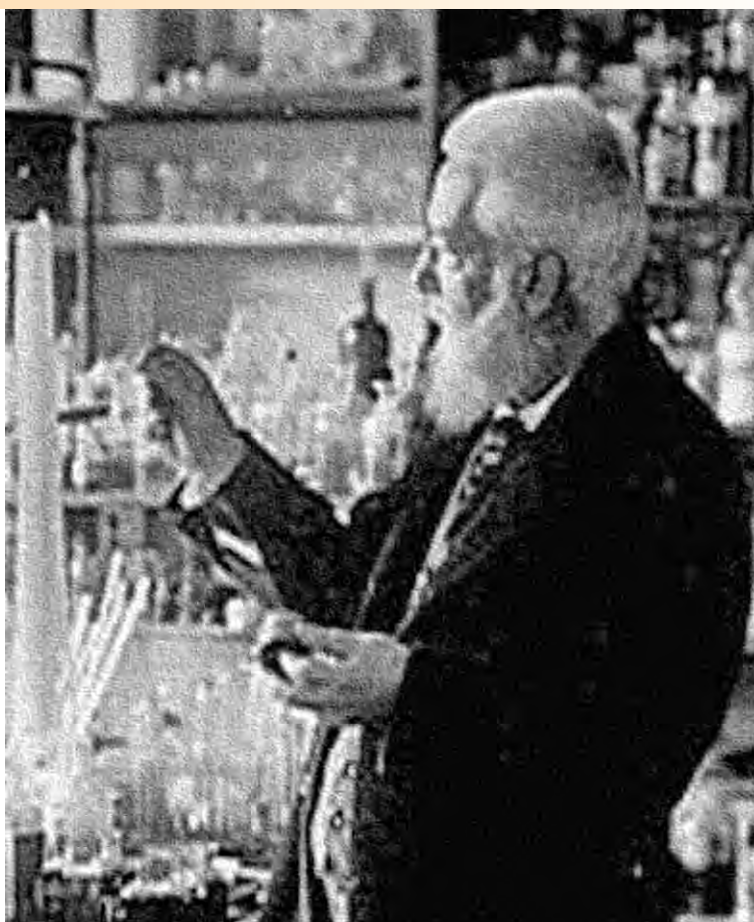
¿Podríamos hablar de un mol de piedras o de un mol de casas?

## ¿Sabías que...?

El concepto de molécula tiene menos de dos siglos. Fue utilizado por primera vez por Avogadro, en 1811, para explicar los resultados experimentales de Gay Lussac enunciados en la Ley de los Volúmenes de Combinación que no pudieron ser explicados ni por Dalton ni por el mismo Gay Lussac.

El término mol que viene de la palabra latina "mole", que significa "pila" (de montón), "lote", "masa", fue utilizado por primera vez en 1896 por el químico alemán Wilhelm Ostwald (1853-1932), pero con un significado totalmente diferente al actual. En 1900 Blanchard y Wade relacionaron el vocablo mol con la Ley de Avogadro. Molécula es un diminutivo de "mole".

Wilhelm Ostwald, químico alemán



# Cantidad de materia y cantidad de sustancia: Dos propiedades diferentes pero relacionadas



La cantidad de sustancia ( $n$ ) que se expresa mediante la unidad mol es distinta a la cantidad de materia o masa ( $m$ ) que se expresa utilizando unidades como gramo (g), kilogramo (kg) o miligramo (mg). A esa cantidad de sustancia ( $n$ ) se le puede medir su masa ( $m$ ) en una balanza. Si bien  $n$  y  $m$  son distintas, están directamente relacionadas por una constante denominada masa molar ( $M$ ) que tiene un valor característico para cada entidad:

$$m(\text{entidad}) = M(\text{entidad}) \times n(\text{entidad}).$$

Así, para la entidad moléculas de cloro se tiene:

$$m(\text{Cl}_2) = M(\text{Cl}_2) \times n(\text{Cl}_2).$$

Frecuentemente  $m$  se expresa en g y  $n$  en mol. Luego, la unidad para  $M$  es g/mol.

## Para pensar

1 kg de hierro y 1 kg de aluminio poseen la misma masa (cantidad de materia), pero no tienen la misma cantidad de sustancia ( $n$ ), pues  $M$  para el hierro (55,85 g/mol) es casi el doble que  $M$  para el aluminio (26,98 g/mol). Por lo tanto, tampoco hay la misma cantidad de entidades ( $N$ ) en 1 kg de hierro y en 1 kg de aluminio. En ambos casos, las entidades son átomos enlazados formando sistemas metálicos.

Entonces, ¿cuáles de las siguientes afirmaciones son verdaderas y cuáles falsas?

- ( ) La cantidad de sustancia en 1 kg de aluminio es casi el doble de la que hay en 1 kg de hierro.
- ( ) La cantidad de entidades en 1 kg de aluminio es la mitad de las presentes en 1 kg de hierro.
- ( ) El hierro es más denso que el aluminio, pues la misma masa requiere de un menor volumen.

Comparte con tu profesor tus respuestas.

## Apoyo didáctico

### Número de entidades y cantidad de sustancia no es lo mismo

Es importante que el profesor llame la atención de sus alumnos sobre el hecho de que el número de sustancias se representa siempre con un número entero. Por ejemplo, el sistema puede estar formado por 10 átomos, jamás por 10,5 átomos: esto no tiene sentido químico. La cantidad de sustancia sí puede ser representada por un número no entero, por ejemplo, 1,5 mol de átomos. Esto significa que el número de átomos en el sistema es:

$$N(\text{átomos}) = 1,5 N_A = 1,5 \times 6,02 \times 10^{23} \text{ átomos} = 9,03 \times 10^{23} \text{ átomos}.$$

Recuperación de aluminio y hierro



# El nivel microscópico: Asignación de masas a los átomos y a las moléculas

Los átomos tienen masas muy pequeñas que no son fáciles de determinar directamente. Además, no todos los átomos de un mismo elemento tienen la misma masa. Lo que se ha hecho es asignar un valor promedio a los átomos pertenecientes a un elemento, escogido como patrón, y la masa promedio de los átomos de otro elemento se determina con relación a la del patrón. El patrón es el isótopo  $^{12}_6\text{C}$  de masa 12,00 u. Así, la unidad de masa atómica (u) es un doceavo (1/12) de la masa de un átomo del isótopo  $^{12}_6\text{C}$ .

El 99% de los átomos de carbono tiene una masa cercana a 12,00 u y el 1% a 13,00 u. Entonces la masa promedio de los átomos de carbono es:

$$(12,00 \text{ u} \cdot 99 + 13,00 \text{ u} \cdot 1)/100 = 12,01 \text{ u}.$$

120

En la escala del carbono, la masa promedio de los átomos del elemento magnesio (Mg) es 24,31 u. Luego, un átomo de Mg promedio tiene casi el doble de la masa que la de un átomo de C promedio. Mencionamos la palabra promedio para el magnesio porque hay tres isótopos de magnesio, tres tipos de átomos de Mg y cada tipo tiene diferente masa.

## ¿Sabías que...?

Existen también átomos de carbono con masa 14 u. Ellos se forman en las capas atmosféricas superiores debido a la acción de los neutrones de alta energía sobre los átomos de nitrógeno. Estos átomos no son estables (son radioactivos) y muy lentamente se van descomponiendo.

## Para pensar

La masa promedio de un átomo de cloro con relación al patrón es 35,45 u. ¿Cómo es la masa promedio de un átomo de Cl con relación a la de un átomo de C-12: mayor o menor? Hay átomos de Cl de masa 34,97 u y átomos de Cl de masa 36,97 u. Si la masa promedio es 35,45 u, ¿de cuáles átomos hay más, de los de masa 34,97 u o de los de masa 36,97 u? En la naturaleza, el elemento cloro se presenta en forma molecular  $\text{Cl}_2$ . ¿Cuál es la masa promedio de una molécula de cloro: 69,94 u, 70,90 u, 71,94 u o 73,94 u?

Consulta a tu profesor si tienes dudas.

Átomo de carbono visto en un microscopio de túnel de barrido

