

# La enseñanza y el aprendizaje de la terminología química: magnitudes y símbolos

**L'ensenyament i l'aprenentatge de la terminologia química: magnituds i símbols**  
**Teaching and learning chemistry terminology: magnitudes and symbols.**

Aureli Caamaño / CESIRE-CDEC / IES Barcelona-Congrés. Barcelona

Glinda Irazoque / Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.



## resumen

El presente artículo considera las dificultades en el uso de la terminología química: la coincidencia de determinados términos en el lenguaje general y en el científico, el uso del lenguaje como una forma de etiquetaje, la existencia de términos polisémicos, la sinonimia, la evolución histórica del significado de determinados términos, los diferentes significados que adquiere un término a lo largo del currículo escolar y el mantenimiento por tradición de términos de significado equívoco. A continuación, se presentan las recomendaciones más importantes dadas por la IUPAC y la IUPAP sobre la nomenclatura de las magnitudes fisico-químicas y de sus unidades, destacando la importancia didáctica de tenerlas en cuenta en las aulas.

## palabras clave

Terminología, lenguaje químico, magnitudes fisicoquímicas, unidades, IUPAC.

## resum

Aquest article considera les dificultats en l'ús de la terminologia química: la coincidència de determinats termes en el llenguatge general i en el científic, l'ús del llenguatge com una forma d'etiquetatge, l'existència de termes polisèmics, la sinonímia, l'evolució històrica del significat d'alguns termes, els diferents significats que adquireix un terme al llarg del currículum escolar i el manteniment per tradició de termes de significat equívoc. A continuació, es presenten les recomanacions més importants donades per la IUPAC i la IUPAP sobre la nomenclatura de les magnituds fisicoquímiques i de les seves unitats, tot destacant la importància didàctica de tenir-les en compte a l'aula.

## paraules clau

Terminologia, llenguatge químic, magnituds fisicoquímiques, unitats, IUPAC.

## abstract

This article considers the difficulties in the use of the chemical terminology: some words are used in general language and in scientific language, the use of language as a way of labelling, polysemic words, synonymous words, the historical evolution of the meaning of some words, the different meaning of a word across the scholar curriculum and the prevalence of some words although its misleading meaning. After that, the article presents the most important IUPAC recommendations about the nomenclature of the physic-chemistry magnitudes and their units, showing the didactic importance of taking them into account.

## keywords

Terminology, chemistry language, physic-chemistry magnitudes, units, IUPAC.

## Introducción

Actualmente se le reconoce al lenguaje una doble función: un sistema de transmisión de información y un sistema interpretativo de los fenómenos que ayude a la formación de conceptos (Sutton, 1997). Los programas de estudio de todos los niveles educativos contemplan la expresión oral y escrita como competencias fundamentales en la educación científica. Diversas investigaciones (Sardá y Sanmartí, 2000) ponen de manifiesto las enormes dificultades con las que se enfrentan los alumnos cuando deben expresar y organizar un conjunto de ideas en un escrito que se construya con rigor científico, precisión, estructura y coherencia.

Se han identificado problemas en la diferenciación de hechos observables e inferencias, en la identificación de argumentos significativos y en la elaboración de argumentos coherentes, pero también se han observado graves dificultades en el manejo de la terminología científica; muchas veces no se distingue entre los términos de uso científico y los de uso común y se utilizan palabras propias del lenguaje coloquial.

A menudo se piensa que los diferentes géneros lingüísticos son objeto de aprendizaje de las clases de lengua y no de las de ciencias. Sin embargo, las ideas de la ciencia se aprenden y construyen expresándolas, y el conocimiento de las formas de hablar y de escribir en relación con ellas es una condición necesaria para su evolución.

Las nociones de texto científico y lenguaje especializado remiten directamente a un tipo de saber que se produce de acuerdo con los procedimientos de la ciencia. La manera como, por un lado, concebimos la ciencia y su relación con la realidad y, por otro lado, describimos su proceder y la acción de quienes la ejercen

determina lo que entendemos por texto científico y lenguaje especializado. Así, de acuerdo con un paradigma científico específico, tenemos un lenguaje científico también específico y su aprendizaje se puede comparar al de una lengua diferente de la propia (Lemke, 1997).

## ¿Qué es la terminología científica?

La terminología es la disciplina que estudia el léxico de los lenguajes de las distintas especialidades. En cada campo del conocimiento, la definición clara y precisa de los términos científicos y técnicos básicos tiene una significación especial.

El lenguaje científico es un lenguaje de especialidad que se caracteriza por un vocabulario específico, que se aprende paralelamente al aprendizaje de cada una de las ciencias (Caamaño, 1998a). La ciencia y la técnica, en su incesante búsqueda de nuevos conocimientos y aplicaciones, precisa constantemente de la creación de terminología que haga referencia a los nuevos conceptos y métodos que se desarrollan.

Con frecuencia no somos conscientes de este paralelismo. Mercè Izquierdo (2005) lo pone en evidencia cuando recuerda las palabras que Lavoisier pronuncia en su *Discours Préliminaire del Traité de Chimie* en 1789:

*La imposibilidad de aislar la nomenclatura de la ciencia y la ciencia de la nomenclatura se debe a que toda ciencia física se forma necesariamente de tres cosas: la serie de hechos que constituye la ciencia, las ideas que los evocan y las palabras que los expresan. La palabra debe originar la idea, ésta debe pintar el hecho: he aquí tres huellas del mismo cuño. Y como las palabras son las que conservan y transmiten las ideas, resulta que no se puede perfeccionar la lengua sin perfeccionar la ciencia, ni la*



El proceso de medida de magnitudes en el laboratorio.

*ciencia sin la lengua; y por muy ciertos que fuesen los hechos, por muy justas que fuesen las ideas que originasen, sólo transmitirían imprecisiones falsas si careciéramos de expresiones exactas para nombrarlas [...].*

El proceso de creación de nuevos términos se realiza mediante el préstamo de palabras del lenguaje cotidiano, atribuyéndoles un nuevo significado, o mediante la formación de neologismos que pueden ser préstamos o calcos de otras lenguas, sean clásicas o contemporáneas (Riera 1998).

Además de los términos, la ciencia utiliza un lenguaje simbólico por medio del cual representamos las magnitudes y las unidades en las que las medimos. Utilizamos también ecuaciones físicas, que expresan relaciones entre estas magnitudes; símbolos, fórmulas y ecuaciones químicas; y símbolos que representan elementos de un circuito o advertencias de riesgo o de seguridad de los productos químicos. Por último la ciencia utiliza un lenguaje gráfico cuando recurre a dibujos y esquemas que expresan particularidades de los modelos teóricos, y a diagramas de flujo que represen-

tan procedimientos químicos, procesos industriales, etc. Más recientemente, utiliza simulaciones informáticas para representar y modelizar procesos físicos y químicos.

En las últimas décadas, la terminología científica ha adquirido un creciente interés por la gran cantidad de términos nuevos que se han tenido que crear debido al vertiginoso avance de las ciencias, la tecnología y la técnica, pero también por la creciente importancia que el lenguaje tiene en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.

Actualmente, el lenguaje no sólo se considera un medio de comunicación; está siendo valorado además como un elemento fundamental en la construcción de conocimientos y en la evaluación de competencias científicas. Por ello se debe insistir en la necesidad de evitar el uso incorrecto o descuidado de la terminología y el lenguaje científicos, ya que de lo contrario, se seguirá induciendo la formación de concepciones alternativas que dificultan el aprendizaje de los conceptos científicos.

### Origen de las dificultades en el uso de los términos científicos

Las dificultades en el uso de la terminología y el lenguaje científicos pueden tener diversas causas. Caamaño (1998a) menciona las siguientes:

- La coincidencia de determinados términos en el lenguaje general y en el científico.
- El uso del lenguaje como una forma de etiquetaje para transmitir conocimiento en lugar de entenderlo como un sistema interpretativo, utilizado para generar nueva comprensión de los hechos (Sutton, 1997).
- La existencia de términos polisémicos, como, por ejemplo, *elemento* y *modelo*.

- La utilización de diferentes términos para designar un mismo concepto (sinonimia) como, por ejemplo, *diferencia de potencial eléctrico*, *voltaje* y *tensión eléctrica*.

- La evolución del significado de determinados términos a lo largo de la historia.
- Los diferentes significados que adquiere un término a lo largo del currículo escolar, como consecuencia del cambio del modelo teórico, como ocurre, por ejemplo, con los términos *ácido* y *base* o *átomo*.
- El mantenimiento por tradición de términos de significado equivoco, como el de peso atómico, calor específico, fuerza electromotriz o sustancia covalente.

### Coincidencias entre el lenguaje común y el científico

Al analizar la historia de la ciencia así como diversos estudios sobre nomenclatura científica, se observa que con frecuencia se usan vocablos del lenguaje común, aunque con un sentido diferente, para dar nombre a conceptos nuevos. Tal es el caso de los conceptos de trabajo, energía, célula, estructura, elemento, flujo y corriente, que usamos en física, química y biología. Esta coincidencia es reconocida en la investigación en didáctica de las ciencias, como una de las fuentes importantes de generación de concepciones alternativas en el aprendizaje de conceptos científicos.

### El lenguaje como sistema de etiquetaje frente al lenguaje como fuente de interpretación de los hechos

Según Sutton (1997) el lenguaje de un científico en el inicio del desarrollo de una teoría es siempre personal y tiene un carácter marcadamente metafórico y especulativo. Así por ejemplo, Boyle, para explicar la compresión

del aire y el aumento de presión que se produce al comprimirlo, habla del «rebote» («elasticidad») del aire, y lo explica suponiendo que el aire está formado por pequeñas partículas elásticas, como resortes de un reloj, enrollados, que intentan abrirse. Muchas veces las explicaciones científicas nuevas implican redescripciones de los fenómenos en estudio, mediante el uso de un lenguaje importado de otras áreas. De este modo se habla de cargas que «fluyen» en un conductor metálico, de la «resistencia» eléctrica al paso de la corriente, de la «tensión» eléctrica entre dos puntos de un circuito, de la «tensión» superficial, del «campo» magnético alrededor de un imán, de la «capacidad» térmica de una sustancia, de la «capacidad» eléctrica de un conductor, etc. Es preciso que esta redesccripción metafórica no sea escondida a los estudiantes, evitando usar el lenguaje como un simple sistema de etiquetaje de conceptos.

En otras ocasiones los científicos han recurrido a la creación de neologismos a partir de las lenguas clásicas. Así, por ejemplo, Faraday propone nuevos términos: *electrólisis*, *electrólito*, *ion*, *catión*, *anión*, etc., para describir y explicar el fenómeno de la conductividad eléctrica de una sustancia fundida o en disolución y su descomposición. El término *electrólisis* está compuesto por el sufijo *lisis*, que significa «rotura», y el prefijo *electro* («electricidad»), significando, por tanto, descomposición de una sustancia por el paso de la electricidad. Este origen etimológico de estos vocablos no debe tampoco ser escondido a los estudiantes, ya que conocerlo enriquece su significado y permite relacionarlo con otros términos en los que también aparece el mismo sufijo (por ejemplo, *termólisis* o *fotólisis*).

### Polisemia

Algunas veces la dificultad radica en que se denomina con un mismo término (polisemia) conceptos que corresponden a niveles estructurales diferentes. Así pasa, por ejemplo, con el concepto de elemento químico, que según el contexto se utiliza como sinónimo de «sustancia simple» o «sustancia elemental» (nivel macroscópico) o como conjunto de átomos o iones del mismo número atómico que forman parte de una sustancia o una disolución (nivel microscópico o nanoscópico). Así se dice que el azufre sólido es un elemento para indicar que es una sustancia simple o se habla del elemento azufre de la tabla periódica para referirse al átomo de azufre. Cuando se dice que el agua está formada por los elementos hidrógeno y oxígeno, entendiéndose que son los átomos de hidrógeno y de oxígeno, que forman las moléculas de agua, no se dice nada incorrecto; pero la comprensión de la frase podría ser equívoca, si un estudiante entendiera que los elementos hidrógeno y oxígeno son el hidrógeno gas y el oxígeno gas. Lo mismo ocurre cuando se dice que el sulfato de hierro contiene el elemento hierro, para indicar que contiene iones de hierro, pero no hierro metálico.

Otro término polisémico, proveniente del campo de la epistemología científica, muy estudiado en los últimos años, es el de modelo. *Modelo* puede significar un modelo material hecho a escala, un modelo molecular, un modelo teórico, un modelo analógico, un modelo matemático, una ecuación, etc.

### Sinonimia

El uso de términos diferentes para referirnos a un mismo concepto (sinonimia) es común en el lenguaje científico y, con frecuencia, crea confusión terminológica

en los alumnos si no se explica bien la equivalencia que guardan estos términos. Lo más adecuado es quizás comentar las diferentes denominaciones, pero escoger nada más una para referirse habitualmente a cada concepto.

En el terreno de la electricidad, por ejemplo, conviven tres denominaciones para una magnitud fundamental, la «diferencia de potencial eléctrico», que también se denomina «voltaje eléctrico» y «tensión eléctrica». *Diferencia de potencial eléctrico* es el término más significativo desde el punto de vista conceptual; *voltaje* es un término que proviene del nombre de la unidad; y *tensión eléctrica*, el término más antiguo, fue tomado prestado del lenguaje corriente (con claro sentido metafórico) y que se sigue utilizando en el ámbito de la electrotecnia. En el campo de la química, se tiene el ejemplo de las diferentes denominaciones que se dan a las disoluciones reguladoras del pH, que también se llaman *disoluciones amortiguadoras* y *disoluciones tampón*. También en la denominación de las fuerzas intermoleculares hay un gran número de términos sinónimos. Por ejem-

plo, se habla de *fuerzas intermoleculares* o *fuerzas de van der Waals*; y de *fuerzas de dispersión*, de *fuerzas de London* o de *fuerzas dipolo instantáneo-dipolo instantáneo*.

### Términos cuyo significado ha evolucionado a lo largo de la historia

El significado de los términos utilizados para designar conceptos científicos depende de la teoría científica o del marco conceptual en que éstos se desarrollan. Las teorías científicas cambian a lo largo del tiempo y con ellas el significado de los conceptos que engloban (García Belmar y Bertomeu, 1998). Uno de los ejemplos más representativos de esta situación es la evolución que ha experimentado el significado del concepto calor desde su concepción en el marco de la antigua teoría del calórico (siglo XVIII), en la que se concebía el calor como un fluido sin peso que pasaba de los cuerpos fríos a los calientes, hasta el significado que le asigna la teoría cinética de los gases como la transferencia de energía cinética de las partículas que forman un sistema.



La utilización de las unidades en el trabajo experimental.

Otras veces un término subsiste con un significado modificado en el lenguaje científico o incluso en el lenguaje corriente. Algunos términos científicos son, en este sentido, términos «fósiles», que provienen de antiguas teorías hoy abandonadas. Por ejemplo, *flujo calórico* y *caloría* son términos relacionados con la teoría del calórico; mientras que *flujo eléctrico*, término técnico que se usa aún para designar la corriente eléctrica, proviene de una teoría que concebía la electricidad como un fluido.

Los estudiantes deben ser conscientes de la evolución de estos términos y de su distinto significado según las teorías históricas en que se enmarcan.

### Diferentes niveles de formulación de un concepto a lo largo del currículo escolar

A través de los años de escolarización, los conceptos se explican con niveles de formulación progresivamente más complejos. En general, en la asignatura de química se pasa de visiones macroscópicas ligadas a la percepción más inmediata a visiones microscópicas ligadas a las teorías atómico-moleculares. Por ejemplo, se pasa del concepto operacional de ácido, relacionado con las propiedades observables de este tipo de sustancias, al de ácido como sustancia que posee una composición y estructura que le permite proporcionar iones hidrógeno en disolución. Más adelante se introduce el concepto de ácido de Brönsted-Lowry y finalmente el de Lewis, con lo que el concepto adquiere sucesivamente significados diferentes. Este cambio de significado puede pasar desapercibido al estudiante, que puede llegar a utilizar definiciones híbridas que utilizan términos procedentes de diferentes teorías (Caamaño, 2003).



Trabajando las magnitudes y las unidades en el aula

### Mantenimiento por tradición de términos equívocos

Algunos términos como, por ejemplo, *peso atómico* de un elemento, *calor específico* de una sustancia o *fuerza electromotriz* de un generador eléctrico, no son del todo adecuados y, sin embargo, la fuerza de su uso los ha mantenido hasta nuestros días.

El peso atómico es una masa relativa y no un peso, por lo que no debiera seguir denominándose así pese a que el término se considera correcto según las normas de la IUPAC. La alternativa sería denominarlo *masa atómica relativa* ( $A_r$ ). Lo mismo ocurre con el peso molecular, para el que se recomienda el término *masa molecular relativa* ( $M_r$ ).

El término *calor específico* de una sustancia tampoco es adecuado, puesto que induce a pensar que el calor es una propiedad de una sustancia, cuando es energía en tránsito. Por ello actualmente se recomienda emplear el término *capacidad calorífica específica* o, aún mejor, *capacidad térmica específica*. Este cambio de denominación ayudará a modificar la idea de que el calor está contenido en la masa de un sistema y a destacar el hecho de que lo que posee un sistema es energía térmica y no calor. Por otro lado, el término

*capacidad* da idea de la capacidad de la sustancia para almacenar energía térmica en relación al incremento de temperatura que se produce. El adjetivo *específico* significa *por unidad de masa*. El símbolo para la capacidad de una muestra de sustancia es  $C$  y para la capacidad térmica específica,  $c$ , mientras que para la capacidad térmica molar es  $C_m$ .

*Fuerza electromotriz*, empleado para los generadores eléctricos, no es tampoco un término adecuado, puesto que no es ninguna fuerza, como sugiere el nombre, sino la energía transferida por unidad de carga que el generador pone en circulación.

La persistencia del uso de términos equívocos puede dar lugar a errores conceptuales en los estudiantes, por lo que debe ponerse gran cuidado en explicar su verdadero significado, advirtiendo a los alumnos de las posibles confusiones que esos nombres pueden provocar.

### ¿Cómo deben denominarse las magnitudes físico-químicas?

La IUPAC y la IUPAP son los organismos encargados de revisar la terminología y la gramática de las magnitudes físicas y químicas. Periódicamente publican las recomendaciones para la escritura correcta de nombres y símbolos científicos en fórmulas, ecuaciones, gráficas, tablas, etc. Si bien estas normas se han incorporado paulatinamente a los libros de texto y al lenguaje científico que se maneja en las aulas, aun queda mucho camino por recorrer para lograr una adecuada generalización. Por ello consideramos importante recordar estas recomendaciones, que fueron expuestas por Caamaño (1998b), con algunas modificaciones correspondientes a normas aparecidas posteriormente (IUPAC, 2004).

## Sobre la cantidad de sustancia y el mol

La cantidad de sustancia ( $n$ ) es una magnitud proporcional al número ( $N$ ) de entidades elementales especificadas de dicha sustancia. El factor de proporcionalidad es el inverso de la constante de Avogadro ( $N_A$  o  $L$ ):

$$n = N / N_A$$

En el SI, la unidad para la cantidad de sustancia es el mol. Su símbolo es *mol*.

Es incorrecto referirse a la cantidad de sustancia como el «número de moles», puesto que se trata de una magnitud física y no de un número. Así, por ejemplo, podemos escribir:

$$n(\text{Na}) = 0,1 \text{ mol} \quad \text{o} \quad n = 0,1 \text{ mol Na}$$

y decir que  $n(\text{Na})$  es la cantidad de sodio (obsérvese la sustitución de *sustancia* por *sodio*). No sería del todo correcto referirnos a la «cantidad de átomos de sodio», ya que el nombre de la magnitud es *cantidad de sustancia* y no *cantidad de partículas*. Es incorrecto referirnos a  $n(\text{Na})$  como el «número de moles» de átomos de sodio, de la misma manera que es incorrecto referirnos a  $m(\text{Na})$  como el número de kilogramos de sodio. La razón es que  $n$  y  $m$  son los símbolos de magnitudes físicas y no de números.

Las entidades elementales pueden ser átomos, moléculas, iones, radicales, electrones o un grupo de partículas en una fórmula o en una ecuación, y no tienen por qué ser partículas individuales físicamente reales. Por tanto, es esencial especificar el nombre o la fórmula de estas entidades para evitar ambigüedades. Por ejemplo:

$$n = 1 \text{ mol de azufre (s)} \quad (\text{incorrecto, por indeterminado})$$

$$n = 1 \text{ mol de moléculas de azufre} \quad (\text{incorrecto, por indeterminado})$$

$$n = 1 \text{ mol de moléculas de octaazufre (correcto)}$$

$$n = 1 \text{ mol de moléculas } S_8(s) \quad (\text{correcto})$$

$$n = 1 \text{ mol de } S_8(s) \quad (\text{correcto})$$

Si la cantidad de  $O_2$  es igual a 3 moles,  $n(O_2) = 3 \text{ mol}$ , entonces la cantidad de  $1/2 O_2$  (o de medias moléculas de oxígeno) es igual a 6 moles,  $n(1/2 O_2) = 6 \text{ mol}$ . Así pues,  $n(1/2 O_2) = 2 n(O_2)$ .

También son correctas cualesquiera de las expresiones siguientes:

$$n\{O_2(g)\} = 1 \text{ mol}$$

$$n(O_2, g) = 1 \text{ mol}$$

$$n = 1 \text{ mol } O_2(g)$$

$$n\{H_2O(l)\} = 1 \text{ mol}$$

$$n(H_2O, l) = 1 \text{ mol}$$

$$n = 1 \text{ mol de } H_2O(l)$$

y análogamente:

$$n(\text{Fe}, s) \quad n(\text{NaCl}, s)$$

$$n(\text{Fe}^{2+}, \text{ac}) \quad n(\text{NaCl}, \text{ac})$$

$$n(\text{Na}^+, g) \quad n(1/2 H_2SO_4, l)$$

$$n(e^-) \quad n\{H_2(g) + 1/2 O_2(g) \rightarrow H_2O(l)\}$$

El símbolo del estado de agregación de las partículas es opcional, pero es muy recomendable indicarlo. De este modo podemos diferenciar cuando nos referimos al nivel nano-atómico o al macroscópico. Por ejemplo, el símbolo *Fe* se utiliza a veces tanto para representar un átomo de hierro como el hierro sólido. Al añadir el símbolo del estado de agregación,  $Fe(s)$ , reducimos en parte esta ambigüedad, ya que *Fe* representaría el átomo de hierro y  $Fe(s)$  representaría el hierro sólido. Así,  $n(Fe, s)$  significa la cantidad de hierro sólido y 1 mol de  $Fe(s)$  significa 1 mol de átomos de *Fe* en estado sólido.

La actual denominación *cantidad de sustancia* no es del todo adecuada cuando nos referimos, por ejemplo, a 2,0 moles de electrones, ya que no hay ninguna sustancia formada sólo por elec-

trones. Una denominación como *cantidad de materia* podría resolver este problema, pero continuaría existiendo cuando nos referimos, por ejemplo, a 1 mol de fotones, que no son partículas materiales.

## $N_A$ , un número que pasó a ser una constante

En un principio, la actualmente denominada constante de Avogadro ( $N_A$ ) era un número que designaba el número de átomos o moléculas que había en un mol de cualquier sustancia. Sin embargo, al introducir la cantidad de sustancia como una magnitud física fundamental (dimensionalmente independiente),  $N_A$  (o  $L$ ) dejó de ser un número y se convirtió en una constante física cuyas dimensiones son [cantidad de sustancia]<sup>-1</sup>.

$$N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Por tanto, no debe seguir empleándose el término *número de Avogadro*, debe decirse *constante de Avogadro*. Su símbolo es  $N_A$  o  $L$ . El símbolo  $N_A$  procede de la antigua denominación *número de Avogadro*, mientras que  $L$  es un símbolo en honor del físico J. Loschmidt, que fue el primero en determinar el número de moléculas que había en 1 cm<sup>3</sup> de un gas en condiciones normales, en el marco de la teoría cinético-molecular.

## El Faraday, una unidad que pasó a ser una constante

El término *Faraday* ya no debe usarse; era el nombre de una antigua unidad de carga eléctrica equivalente a 96.500 C. Actualmente es una constante física cuyas dimensiones son [carga] [cantidad de sustancia]<sup>-1</sup>.

La *constante de Faraday* es el cociente entre la carga eléctrica y la cantidad de electrones.

$$F = Q_e / n_e \quad F = 9,65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$$

De acuerdo con esta definición, la expresión:

«Se deposita 1 mol de átomos de Zn cuando circula una carga de 2 F» es incorrecta y debe expresarse como: «Se deposita 1 mol de átomos de Zn cuando circulan  $2 \times 9,65 \times 10^4$  C o cuando circulan 2 moles de electrones».

### ¿Qué quiere decir específico?

El adjetivo *específico* significa «por unidad de masa». Por ejemplo, el volumen específico de una sustancia es su volumen dividido por su masa. Cuando una magnitud extensiva se representa por una letra mayúscula, la magnitud específica debe designarse con la letra minúscula correspondiente. Por ejemplo:

volumen específico  $v = V / m$   
capacidad térmica específica  $c = C / m$

A la vista del significado actual del adjetivo *específico*, no debe utilizarse como sinónimo de «característico». Por ejemplo, no debe hablarse de conductividad eléctrica específica para designar la conductividad eléctrica ( $\kappa$ ) de una sustancia.

### ¿Qué quiere decir molar?

El adjetivo *molar* significa «por unidad de cantidad de sustancia». Se designa con el subíndice *m*. Así, por ejemplo, el volumen molar es el volumen de una sustancia dividido por la cantidad de sustancia:

$$V_m = V / n$$

y la capacidad térmica molar,

$$C_m = C / n$$

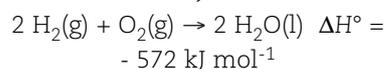
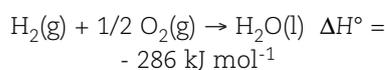
De acuerdo con esta notación la ecuación de estado de un gas ideal debe escribirse:

$$pV = nRT \quad \text{o bien} \quad pV_m = RT$$

Del subíndice *m* puede prescindirse cuando en la unidad se especifica la dimensión [cantidad de sustancia]<sup>-1</sup>. Por ejemplo,

$$\Delta H^\circ (\text{H}_2\text{O}, l) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$$

De lo que no debe prescindirse es de especificar *mol*<sup>-1</sup> en la unidad correspondiente a la variación de una magnitud molar en una ecuación química, por el hecho de que ésta corresponda a más de 1 mol de producto. Por ejemplo, podemos escribir:



En el primer caso nos estamos refiriendo a 1 mol de moles de H<sub>2</sub>O; en el segundo a 1 mol de moles de 2H<sub>2</sub>O(l).

### ¿Pesos atómicos o masas atómicas relativas?

El nombre *peso atómico* proviene de la época en que no se podían determinar las masas atómicas más que con procedimientos que implicaban pesar. En 1961 cuando se introdujo una nueva escala de pesos atómicos basada en el isótopo <sup>12</sup>C, la Comisión Internacional de Pesos Atómicos (ICAW) propuso cambiar la expresión *peso atómico* por la de *masa atómica relativa*, puesto que no se trataba de un peso. Sin embargo, la IUPAC no aceptó el cambio de nomenclatura por considerar que, por tratarse de una magnitud adimensional, era irrelevante usar uno u otro término y, en cambio, podía prestarse a confusión llamar del mismo modo a la masa atómica relativa de un átomo individual que a la masa atómica relativa media por átomo de la mezcla de isótopos que caracterizan un elemento (peso atómico). Finalmente, la IUPAP y la IUPAC

consintieron en cambiar el nombre de peso atómico por el de masa atómica relativa.

En la actualidad, se denomina *masa atómica relativa* (símbolo, *A<sub>r</sub>*) a la masa relativa del átomo de un isótopo (por ejemplo, *A<sub>r</sub>*(<sup>16</sup>O)) o a la masa atómica relativa media por átomo de la mezcla isotópica de un elemento (por ejemplo, *A<sub>r</sub>*(O)). A esta última también se le puede seguir llamando *peso atómico*.

*A<sub>r</sub>*(<sup>16</sup>O) = 15,995 masa atómica relativa del oxígeno-16

*A<sub>r</sub>*(O) = 15,999 masa atómica relativa o peso atómico del oxígeno

La *masa molecular relativa* o *peso molecular* se designa con el símbolo *M<sub>r</sub>*. Por ejemplo:

$$M_r(\text{O}_2) = 32,0$$

El símbolo *M<sub>r</sub>* no está restringido a entidades que sean moléculas, sino que también sirve para designar la *masa fórmula relativa* (o masa relativa de la «unidad fórmula») de un compuesto con estructura gigante iónica o covalente. Por ejemplo,

$$M_r(\text{KCl}) = 74,5$$

$$M_r(\text{SiO}_2) = 60,1$$

La masa atómica relativa o la masa molecular relativa no deben confundirse con la *masa molar* (símbolo *M*), que es la masa de 1 mol de átomos, de iones, de moléculas o de unidades fórmula, a pesar de que el valor numérico de la masa molar coincide con el valor numérico de la masa atómica o molecular relativa. Las dimensiones de la masa molar son: [masa] [cantidad de sustancia]<sup>-1</sup>. Por ejemplo:

$$M(\text{O}) = 16,0 \text{ g mol}^{-1}$$

$$M(\text{O}_2) = 32,0 \text{ g mol}^{-1}$$

$$M(\text{KCl}) = 74,5 \text{ g mol}^{-1}$$

No deben utilizarse las antiguas expresiones *átomo-gramo* o *molécula-gramo* para designar la masa de 1 mol de átomos o de 1 mol de moléculas. Tampoco debe confundirse  $A_r$  con la *masa atómica* o  $M_r$  con la *masa molecular* o la *masa de una unidad fórmula* (símbolo,  $m$ ), que es la masa absoluta de un átomo, de una molécula o de una unidad fórmula y que, por tanto, tiene dimensiones de [masa].

$$m (\text{partícula}) = M / L$$

Por ejemplo:

$$m (\text{O}) = 2,657 \times 10^{-23} \text{ g}$$

$$m (\text{O}_2) = 5,314 \times 10^{-23} \text{ g}$$

$$1 \text{ u} = 1/12 m (^{12}\text{C}) = \frac{1/12 M (^{12}\text{C})}{L} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ g}$$

La *unidad de masa atómica* (símbolo,  $u$ ) se define:

La masa atómica del oxígeno expresada en unidades de masa atómica es:

$$m (\text{O}) = 16,0 \text{ u}$$

y su masa molecular

$$m (\text{O}_2) = 32,0 \text{ u}$$

De acuerdo con lo expuesto, es totalmente incorrecto decir que el peso atómico o la masa atómica relativa del oxígeno es 16,0  $u$ , aunque es frecuente verlo escrito en libros de texto. La unidad de masa atómica es una unidad de masa cuyo valor se puede expresar en gramos. La masa atómica relativa y la masa molecular relativa son magnitudes adimensionales que, por tanto, no pueden ser expresadas en  $u$ .

### Equivalentes y magnitudes relacionadas: ¡descansen en paz!

El término equivalente y las magnitudes relacionadas (*peso equivalente*, *equivalente-gramo* y *conductividad equivalente*) son innecesarios y muchas veces ambiguos, por lo que se recomienda no usarlas más. Por ejemplo, el peso equivalente (o masa equivalente relativa) del permanganato de potasio se puede expresar como:

$M_r (1/5 \text{ KMnO}_4)$  en una reacción en medio ácido

$M_r (1/3 \text{ KMnO}_4)$  en una reacción en disolución alcalina.

Así pues, en lugar de decir que el peso equivalente del ácido sulfúrico es 49, podemos escribir que la masa molecular relativa de  $1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4$  es:

$$M_r (1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4) = 49$$

Y en lugar de decir que la masa equivalente-gramo del  $\text{H}_2\text{SO}_4$  es 49 g, podemos decir que la masa molar de  $1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4$  es:

$$M (1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4) = 49 \text{ g mol}^{-1}$$

### Formas de expresar la composición de las disoluciones

La composición de una disolución se puede expresar de diferentes maneras, tal como se muestra en el cuadro 1.

Muchas veces se utiliza el término *concentración* para referirse a la composición de una disolución en general, pero hay que tener en cuenta que, de acuerdo con las recomendaciones de la IUPAC, el término *concentración* debe reservarse para la *concentración en cantidad de sustancia* (cantidad de soluto por unidad de volumen de disolución):

$$c = n / V$$

donde  $n$  es la cantidad de soluto y  $V$  el volumen de la disolución.

La unidad SI de concentración en cantidad de sustancia es el  $\text{mol m}^{-3}$ , aunque el  $\text{mol dm}^{-3}$  es el submúltiplo más conveniente para el laboratorio. La concentración expresada en esta última unidad coincide con la forma de expresar la composición que ha venido llamándose *molaridad*. La IUPAC recomendó abandonar este término, por ser un nombre para designar una magnitud expresada en una unidad determinada y por ser fácil de confundir con *molalidad*. Del mismo modo, consideró que era

**Cuadro 1.**

#### Diferentes formas de expresar la composición de una disolución

Formas de expresar la composición	Definición	Símbolo	Unidad habitual
Fracción en masa	masa de un componente / masa disolución	$w$	1
Fracción en volumen	volumen soluto / volumen disolución	$\varnothing$	1
Fracción molar	cantidad de sustancia de un componente / cantidad de sustancia de la disolución	$x$	1
Concentración en masa	masa soluto / volumen de disolución	$\rho$	$\text{g dm}^{-3}$
Concentración en cantidad de sustancia	cantidad de soluto / volumen de disolución	$c$	$\text{mol dm}^{-3}$
Concentración de número de partículas	número de partículas / volumen de disolución	$C$	$\text{dm}^{-3}$
Molalidad	cantidad de soluto / masa de disolvente	$m, b$	$\text{mol kg}^{-3}$

preferible no utilizar la abreviatura 0,1 M ni la expresión 0,1 molar para indicar una concentración de 0,1 mol dm<sup>-3</sup> (o 0,1 mol L<sup>-1</sup> o 0,1 mol l<sup>-1</sup>), dado que el símbolo M significa 10<sup>6</sup> y la palabra molar debe reservarse para indicar «dividido por cantidad de sustancia».

Aunque el término molaridad y el símbolo M se siguen utilizando en el contexto práctico de los laboratorios de análisis, por lo que se refiere al trabajo científico y a su uso en las aulas, sería preferible utilizar la nomenclatura recomendada inicialmente por la IUPAC.

La *normalidad* se definía como los equivalentes de soluto por unidad de volumen de disolución. Como consecuencia de lo dicho anteriormente sobre los equivalentes, la normalidad es una forma de expresar la composición de una disolución que debe ser abandonada.

La *concentración en masa*  $\rho$ , se define como:

$$\rho = m / V$$

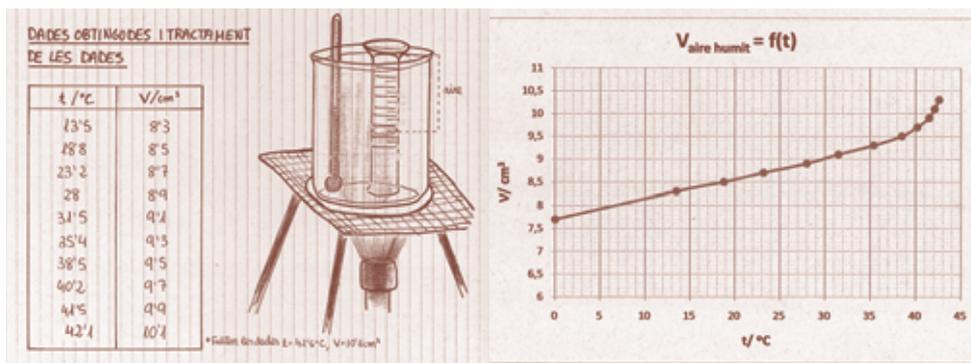
donde  $m$  es la masa de soluto y  $V$  el volumen de la disolución. Se mide habitualmente en g dm<sup>-3</sup> o g L<sup>-1</sup>.

La *concentración en número de entidades* se define como  $C = N / V$  y se mide en m<sup>-3</sup> o dm<sup>-3</sup>. Si las entidades son moléculas esta concentración se le puede denominar concentración en número de moléculas.

La *molalidad* es la cantidad de soluto B por unidad de masa de disolvente A ( $m_B = n_B / m_A$ ). Su unidad usual es mol kg<sup>-1</sup>. No debe, sin embargo, utilizarse la abreviatura 0,1 m (0,1 molal) para indicar una disolución 0,1 mol kg<sup>-1</sup>. El término *molal* tampoco está reconocido como unidad SI.

Puesto que el mismo símbolo  $m$  sirve para designar la molalidad y la masa, se puede utilizar el símbolo  $b$  para indicar la molalidad.

La *fracción en masa*  $w$  se define como:



Expresión de magnitudes y unidades en tablas y gráficos.

$$w_i = m_i / \sum m_i$$

donde  $m_i$  es la masa del componente  $i$  y  $m_i$  la masa total de la disolución.

La *fracción en volumen*  $\varnothing$  se define como:

$$\varnothing_i = V_i / \sum V_i$$

donde  $V_i$  es el volumen del componente  $i$  antes de la disolución y  $V_i$  la suma de los volúmenes de todos los componentes antes de la disolución.

La *fracción molar*  $x$  se define como:

$$x_B = n_B / \sum n_i$$

donde  $n_B$  es la cantidad del soluto B y  $\sum n_i$  la suma de la cantidad de sustancia de todos los componentes de la disolución.

La *solubilidad* de una sustancia se designa con la letra  $s$ . Puede expresarse como:

$$s = c \text{ (disolución saturada) o } s = \rho \text{ (disolución saturada).}$$

A veces se expresa como masa de soluto en 100 g de disolvente, aunque esta forma de expresar la solubilidad no coincide con ninguna de las formas de expresar la composición descritas en la tabla anterior.

### Un mismo criterio para los signos del calor y el trabajo

La IUPAC recomienda adoptar el mismo criterio para asignar el signo al trabajo y al calor. El *calor*

$q$  (que también se puede designar  $Q$ ) y el *trabajo*  $w$  se consideran positivos cuando aumentan la energía interna  $U$  del sistema, y negativos, en caso contrario. Con este convenio el primer principio de la termodinámica se escribe:

$$q + w = \Delta U$$

y la relación entre el máximo trabajo útil que puede realizar un sistema a  $p$  y  $T$  constantes y la variación de *energía libre de Gibbs* ( $G$ ) es:

$$(W_{\text{útil máximo}})_{p,T} = \Delta G_{p,T}$$

### Entalpía reticular y entalpía de enlace

El signo de magnitudes como la energía reticular o la energía de enlace puede presentar dificultades si no se especifica claramente la definición de estas magnitudes. Generalmente la *energía reticular* se define como la energía desprendida en la formación de una unidad fórmula de un cristal iónico a partir de sus iones en estado gaseoso; en cambio, la *energía de enlace*, aunque se puede definir como la energía desprendida al formarse un enlace (energía de formación del enlace), se define frecuentemente como la energía necesaria para romper un enlace (energía de disociación del enlace). Por otro lado, muchas veces se denomina energía reticular o energía de enlace y, en cambio, lo que se tabula es la entalpía. Para evitar ambigüe-

dades se aconseja definir el proceso mediante una ecuación y tabular como propiedad el  $\Delta H_m$  del proceso descrito. Por ejemplo:  $\Delta H_{ret}(MX) = \Delta H_m \{M^+(g) + X^-(g) \rightarrow MX(s)\}$  entalpía reticular (negativa)  $\Delta H_{f,m}(C-C) = 1/4 \Delta H_m \{(C(g) + 4 H(g) \rightarrow CH_4(g)\}$  entalpía de formación del enlace (negativa)  $\Delta H_{d,m}(C-C) = 1/4 \Delta H_{at,m} \{CH_4(g) \rightarrow (C(g) + 4 H(g)\}$  entalpía de disociación del enlace (positiva) donde  $\Delta H_{at,m}$  es la entalpía molar de atomización del  $CH_4(g)$  Así pues la entalpía del enlace se puede definir como entalpía molar de formación del enlace,  $\Delta H_{f,m}(C-C)$  o como entalpía molar de disociación del enlace,  $\Delta H_{d,m}$ . El subíndice m se puede eliminar si se expresan las unidades,  $\text{kJ mol}^{-1}$ .

### Implicaciones didácticas

El uso adecuado del lenguaje y la terminología de una ciencia forma parte de la enseñanza de la misma, por ello es muy importante atender estos aspectos. Algunas sugerencias al respecto son:

- Justificar etimológicamente los términos que se introducen por primera vez.
- Resaltar las diferencias entre el significado común y el científico de los términos que se han tomado del lenguaje general.
- Analizar con los alumnos la evolución histórica de los conceptos científicos y la evolución de los términos usados para designarlos.
- Promover el uso del Sistema Internacional de unidades y las recomendaciones de la IUPAC y de la IUPAP para la denominación de las magnitudes físico-químicas y de sus unidades.
- Ser exigentes con los alumnos en el uso de los términos y símbolos adecuados. En particular, es importante que en los problemas de química que implican cálculos, los estudiantes usen símbolos para designar las magnitudes que calculan y las ecuaciones que permiten calcular las magnitudes, del

mismo modo que lo hacen en la resolución de problemas de física.

• El lenguaje de la química tiene asociada además una terminología específica relacionada con la nomenclatura de gran cantidad de sustancias diferentes, por lo que es importante estar atentos a las publicaciones periódicas de la IUPAC sobre las normas de formulación y nomenclatura de las especies químicas (Casassas, 1998).

### Referencias bibliográficas

- CAAMAÑO, A. (1998a). «Problemas en el aprendizaje de la terminología científica». *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, núm. 17, p. 5-10.
- CAAMAÑO, A. (1998b). «Nomenclatura, símbolos y escritura de las magnitudes fisicoquímicas». *Alambique*, núm. 17, p. 47-57.
- CAAMAÑO, A. (2003). «Modelos híbridos en la enseñanza y aprendizaje de la química». *Alambique*, núm. 35, p. 70-81.
- CASASSAS, E. (1998). «La nomenclatura de las sustancias inorgánicas», *Alambique*, núm. 17, p. 37-45.
- GARCÍA BELMAR, A.; BERTOMEU, J. R. (1998). «Lenguaje, ciencia e historia: una introducción histórica a la terminología química». *Alambique*, núm. 17, p. 20-36.
- IZQUIERDO, A. M. (2005). «Hacia una teoría de los contenidos escolares». *Enseñanza de las Ciencias*, núm. 23 (1), p. 111-122.
- LEMKE, J. L. (1997). *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós.
- RIERA, C. (1998). «Terminología científica. Generalidades e influencia del inglés». *Alambique*, núm. 17, p. 11-19.
- SARDÁ, J. A.; SANMARTÍ, N. (2000). «Enseñar a argumentar científicamente: un reto de las clases de ciencias», *Enseñanza de las Ciencias*, núm. 18 (3), p. 405-422.
- SUTTON, C. (1997). «Ideas sobre la ciencia e ideas sobre el lenguaje». *Alambique*, núm. 12, p. 8-32.
- IUPAC (Unión Internacional de Química Pura i Aplicada) (2004). *Magnituds, unitats i símbols en Química-Física*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans. Secció de Ciències i Tecnologia.

Nota: Parte de este trabajo se realizó con el apoyo del Proyecto PAPIIME PE205305 otorgado por la DGAPA de la UNAM.



### Aureli Caamaño

**Ros** es doctor en química por la Universidad de Barcelona y catedrático de Física y Química de

Secundaria en el IES Barcelona-Congrés. Ha sido coordinador y profesor del curso de formación inicial (CAP) del ICE de la Universidad de Barcelona y ha participado en diversos programas de formación permanente del profesorado de ciencias y en diferentes proyectos de ciencias. Es autor de libros de texto y numerosos artículos sobre el currículum de ciencias, la didáctica de la química i los trabajos prácticos.

A.e. acaamano@xtec.cat



### Glinda Irazoque

**Palazuelos** es profesora de tiempo completo en la Universidad Nacional Autónoma de

México (UNAM). Es ingeniera química con maestría en fisicoquímica. Actualmente es estudiante de doctorado en la UAB y sus líneas de investigación son enseñanza experimental, resolución de problemas y aprendizaje con base en modelos. Ha publicado 8 libros de texto y divulgación, tres capítulos en libros, 20 artículos en revistas y ha impartido más de 90 conferencias de divulgación científica. A.e. glinda.irazoque@yahoo.com.mx