



La estructura conceptual de la química: realidad, conceptos y representaciones simbólicas*

Aureli Caamaño
Societat Catalana de Química
Institut d'Estudis Catalans

La estructura conceptual de la química se basa en una serie de conceptos y modelos que pertenecen a tres niveles: macroscópico, submicroscópico e intermedio. Para su representación se utiliza un lenguaje específico: verbal, simbólico, matemático, icónico y gráfico, que también puede clasificarse en estos tres niveles. Esta estructura conceptual y sus formas de representación se plasman en los contenidos de los currículos y tienen un papel importante en la enseñanza y aprendizaje de los conceptos y modelos de la química. El presente artículo pretende incidir en la clarificación de la naturaleza de los componentes ontológico, conceptual y representacional de la química y sugerir algunas implicaciones didácticas y curriculares.

Palabras clave: *conceptos químicos, modelos químicos, representación simbólica, niveles macro-micro, secuenciación.*

The conceptual structure of chemistry: reality, concepts and symbolic representations

The conceptual structure of chemistry is based on a series of conceptions and models at three levels: macroscopic, submicroscopic and intermediate. And a specific language is used to represent them –verbal, symbolic, mathematical, iconic and graphical– which can also be classified on three levels. This conceptual structure and its forms of representation shape the contents of curriculums and play a key role in the teaching and learning process for the concepts and models in chemistry. This paper aims to help clarify the nature of ontological, conceptual and representational components of chemistry and suggest some didactic and curricular implications.

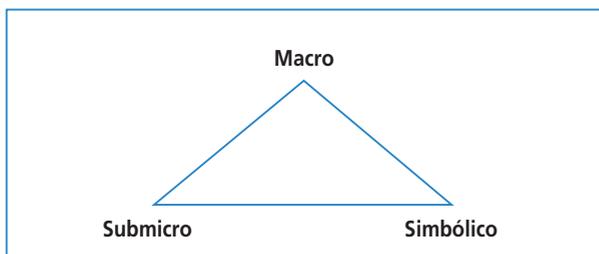
Keywords: *chemistry concepts, chemistry models, symbolic representation, macro-micro levels, sequencing.*

■ Estructura conceptual y representacional de la química

Johnstone (1982) consideró que en química era necesario diferenciar *tres niveles de pensamiento*: el nivel *macroscópico*, el *submicroscópico* y el *simbólico*. En publicaciones posteriores Johnstone representó estos niveles mediante un triángulo y los relacionó con perspectivas de aprendizaje y enseñanza de la química (cuadro 1). Según este

autor las dificultades en el aprendizaje de la química que mostraban muchos alumnos eran atribuibles al intento de integrar a la vez los tres dominios –macroscópico, submicroscópico y simbólico–, con la complejidad que esto entrañaba.

Las dificultades en el aprendizaje de la química que mostraban muchos alumnos eran atribuibles al intento de integrar a la vez los tres dominios –macroscópico, submicroscópico y



Cuadro 1. Niveles o dominios de la química según Johnstone (1991)

simbólico–, con la complejidad que esto entrañaba (Johnstone, 1982).

Gabel (1993) se refirió al triángulo de Johnstone como a una representación de los tres niveles en los que la química puede ser enseñada: sensorial (nivel macroscópico), átomos/moléculas (submicroscópico) y simbólico. Talanquer (2011) ha señalado la gran influencia que ha tenido este triplete del conocimiento químico en el campo de la educación química en las tres últimas décadas, pero ha advertido que al haber sido adoptado y adaptado por muchas personas, ha dado lugar a una serie de formas o manifestaciones diferentes, algunas de las cuales han generado confusión y falta de comprensión sobre el significado de los componentes del triplete.

En un artículo reciente, Taber (2013) se ha referido a este triplete para clarificar su ontología, centrándose en cómo el nivel simbólico se relaciona con los niveles o dominios macroscópico y submicroscópico, y en las implicaciones didácticas que se derivan de ello. En lo que se refiere al primer aspecto, Taber se ha centrado en explicitar los dos niveles de conceptualización de los fenómenos del mundo externo percibidos: el macroscópico (sustancias, reacciones químicas, etc.) y el submicroscópico (moléculas, iones, interacciones eléctricas, etc.); el primero se explica en función del segundo mediante modelos submicroscópicos. Y ha señalado los dos niveles de representación correspondientes, el

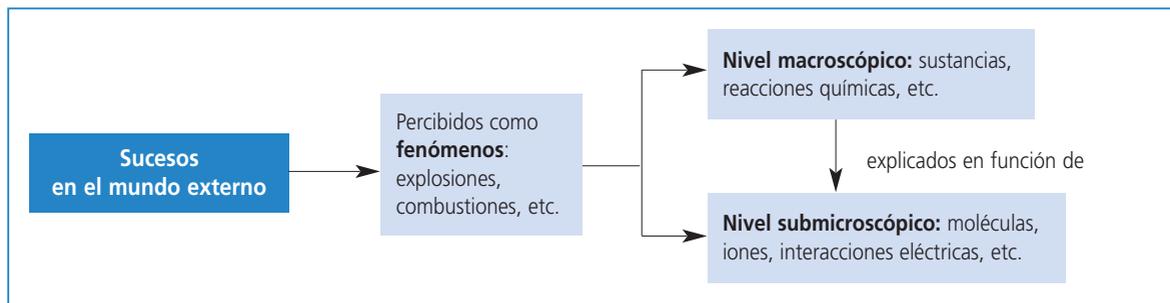
de los conceptos macroscópicos (gráficos del avance de una reacción, esquemas de aparatos de laboratorio, etc.) y el de los conceptos submicroscópicos (estructuras moleculares, niveles de energía, distribución de Maxwell-Boltzmann, etc.). Sitúa en un nivel intermedio algunas representaciones simbólicas ambiguas, que hacen referencia a los dos niveles, macroscópico y submicroscópico, tales como las fórmulas químicas, las ecuaciones químicas, etc.

El presente artículo pretende incidir en la clarificación de la naturaleza de este triplete, diferenciando entre los niveles ontológico, conceptual y representacional (verbal, simbólico e icónico) de la química. También pretende señalar algunas implicaciones del triplete para la secuenciación de los conceptos en el currículo de la química. Nuestro análisis se basa en sucesivos trabajos sobre los niveles estructurales de la materia (Caamaño, 1993; Caamaño y Casassas, 1993; Caamaño, 1998a; Caamaño y Oñorbe, 2004) y sobre los aspectos terminológicos e interpretativos del lenguaje científico (Caamaño, 1998b; Caamaño e Irazoque, 2009; Caamaño, 2013).

■ Referentes ontológicos, conceptos, modelos y representaciones

La diferenciación entre los niveles macroscópico y submicroscópico de los conceptos puede exten-

Las dificultades en el aprendizaje de la química que mostraban muchos alumnos eran atribuibles al intento de integrar a la vez los tres dominios –macroscópico, submicroscópico y simbólico–, con la complejidad que esto entrañaba (Johnstone, 1982)



Cuadro 2. Dos niveles de conceptualización del conocimiento químico (Taber, 2013)

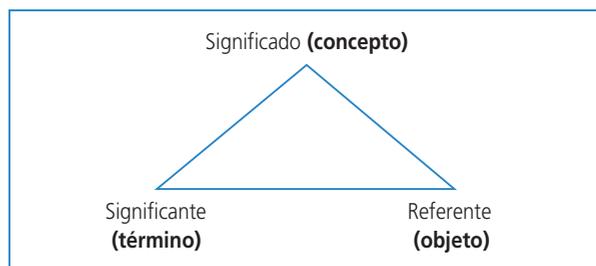
derse a las representaciones simbólicas y verbales de estos conceptos, tal como sugiere Taber (2013) y hemos apuntado en algún trabajo anterior (Caamaño, 2003). Nos parece fundamental la referencia que hace Taber (2013, p. 159) de los «sucesos» del mundo externo, que percibimos como fenómenos y conceptualizamos a nivel macroscópico y submicroscópico, porque resalta la diferencia entre conceptualización o modelización mental y realidad ontológica. Prosiguiendo en esta dirección nada nos impide considerar que la realidad también tiene dos niveles (macroscópico y submicroscópico), si bien esta realidad ha de contener no solo los sucesos o procesos sino también las entidades, las interacciones y las propiedades de las sustancias y de los procesos.

Así pues, podríamos visualizar un triplete de la química formado no solo por los conceptos y modelos mentales, y sus representaciones, sino también por las entidades y procesos químicos reales. Esta diferenciación entre estos tres componentes (real, conceptual y representacional) es análoga a la que se usa en la filosofía del lenguaje y en lingüística (Cabré, 1999; Santamaría, 2006), disciplinas en las que se considera que los términos o unidades terminológicas (que son unidades a la vez lingüísticas, cognitivas y comunicativas) son unidades compuestas por tres elementos: el significante o denominación verbal, el

Podríamos visualizar un triplete de la química formado no solo por los conceptos y modelos mentales, y sus representaciones, sino también por las entidades y procesos químicos reales

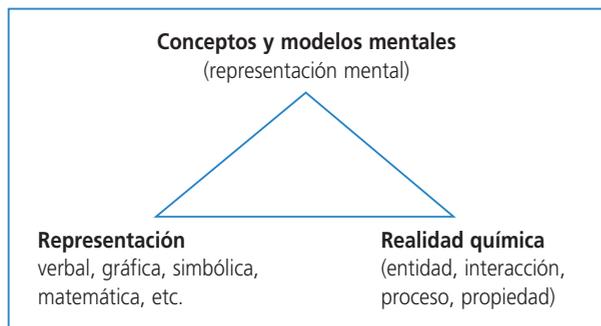
significado o concepto, y el objeto o referente (cuadro 3).

Proponemos, pues, adoptar un triplete con estos tres componentes (cuadro 3): el «objeto» o referente en química estaría constituido por las entidades materiales, las interacciones, los procesos, las propiedades de las entidades y las propiedades de los procesos; el significante, que en lingüística hace referencia nada más que al «término», se amplía con los símbolos, las fórmulas,

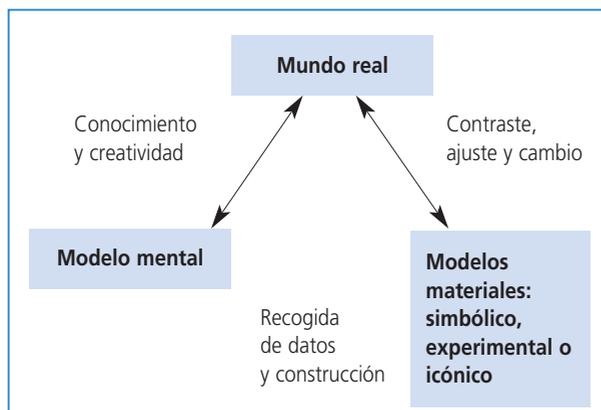


Cuadro 3. Representación de los componentes de una unidad terminológica (Santamaría, 2006)

los gráficos, los diagramas y los esquemas que se utilizan en los otros tipos de lenguaje representacional de la química; y los conceptos se complementarían con los modelos mentales científicos (cuadro 4).



Cuadro 4. Realidad química (entidad material, interacción, proceso y propiedad), conceptos y modelos (representación mental) y representación (verbal, gráfica, simbólica, etc.). Tanto la realidad como los conceptos y las representaciones pueden ser clasificados en tres niveles: macroscópico, submicroscópico e intermedio



Cuadro 5. La relación entre el mundo real, los dos tipos de modelos y modelización (en las flechas) (Chamizo, 2011). Los modelos experimentales hacen referencia a dispositivos o aparatos como el construido por Urey-Miller para recrear las condiciones iniciales de la atmósfera que permitieron la generación de aminoácidos

El componente representacional se clasifica en función del tipo de lenguaje de representación utilizado: verbal (oral o escrito), simbólico (símbolos químicos, fórmulas químicas, ecuaciones químicas), formal o matemático (fórmulas y ecuaciones matemáticas), gráfico (esquemas, diagramas estructurales, diagramas con ejes de coordenadas), modelos materiales (modelos moleculares), simulaciones, etc. Los componentes no verbales del nivel representacional han sido también denominados *modelos materiales* (simbólicos, icónicos o experimentales) por Chamizo (2010 y 2011) y Martínez y otros (2012) (cuadro 5). Desde este punto de vista, todos los componentes representacionales no verbales podrían ser considerados modelos materiales, y el triplete propuesto estaría constituido por el mundo real, los modelos mentales y los modelos materiales.

■ Los niveles macroscópico, submicroscópico e intermedio

En cada uno de los componentes del nuevo triplete podemos distinguir dos niveles, el macroscópico y el submicroscópico. La *realidad química* presenta un nivel *macroscópico*, que es el que percibimos directamente con los sentidos (por ejemplo, una sustancia, una propiedad macroscópica medible, un instrumento de laboratorio o una reacción química), y un nivel *submicroscópico*, constituido por las partículas que forman estas sustancias u objetos, por sus propiedades

El componente representacional se clasifica en función del tipo de lenguaje de representación utilizado: verbal, simbólico, formal o matemático, gráfico, modelos moleculares, simulaciones, etc.

submicroscópicas y por las interacciones que estas partículas sufren.

Además de estos dos niveles (el macroscópico y el submicroscópico) es necesario contemplar un *nivel intermedio*, que es el nivel que permite explicar las propiedades físicas de las sustancias en función de las partículas que las constituyen y sus interacciones. Este nivel informa de la distribución espacial y de las interacciones entre la multitud de partículas que constituyen la sustancia. Corresponde a este nivel, por ejemplo, la estructura multimolecular de una sustancia molecular o la estructura multiatómica o multiiónica de una sustancia con estructura gigante, ya sea metálica, iónica o reticular covalente (Caamaño y Casassas, 1993; Caamaño, 1998a). Podríamos denominar este nivel intermedio *nivel multiatómico, multimolecular o multiiónico*.

Tanto los *conceptos y modelos* como las *representaciones verbales, gráficas o simbólicas* pueden ser macroscópicas, submicroscópicas o intermedias, según el carácter de las entidades

o propiedades que representen o de las interacciones o procesos a las que se asocien. Así, por ejemplo, *sustancia* es un término (representación verbal) que corresponde al nivel macroscópico, el de *molécula* corresponde a un nivel submicroscópico, y el de *estructura gigante* a un nivel intermedio. Y $H_2O(l)$ sería una representación simbólica de nivel macroscópico (puesto que representa una muestra de agua líquida); un diagrama multimolecular del agua sería una representación gráfica de nivel intermedio, porque representa convencionalmente una multitud de moléculas de agua, y H_2O sería una representación simbólica de nivel submicroscópico, porque representa una molécula de agua. Nótese cómo el uso del símbolo del estado físico de una sustancia soluciona la ambigüedad de significado macro o submicro que se produce cuando las fórmulas químicas se usan sin esta diferenciación simbólica.

El cuadro 6 resume los componentes de la química en los tres niveles macroscópico, submicroscópico e intermedio que acabamos de proponer.

| nivel \ componente | Realidad ontológica | Conceptos y modelos (representación mental) | Representación verbal y con otros lenguajes |
|--|---|---|---|
| Macroscópico. | Macroscópico (tal como lo percibimos con los sentidos). | Macroscópico (imagen mental de la entidad o proceso). | Términos y otros tipos de representaciones simbólicas o gráficas correspondientes a entidades o procesos macroscópicos. |
| Intermedio (multiatómico, multiiónico o multimolecular). | Intermedio. | Intermedio (concepto o modelo mental intermedio). | Ídem correspondientes a entidades o propiedades intermedias. |
| Submicroscópico (atómico, iónico o molecular). | Submicroscópico. | Submicroscópico (concepto o modelo mental submicroscópico). | Ídem correspondientes a entidades o procesos submicroscópicos. |

Cuadro 6. Componentes ontológico, conceptual y representacional de la química y sus tres niveles (véase cuadro 8 para los ejemplos)

■ Una clasificación de los referentes ontológicos de la química

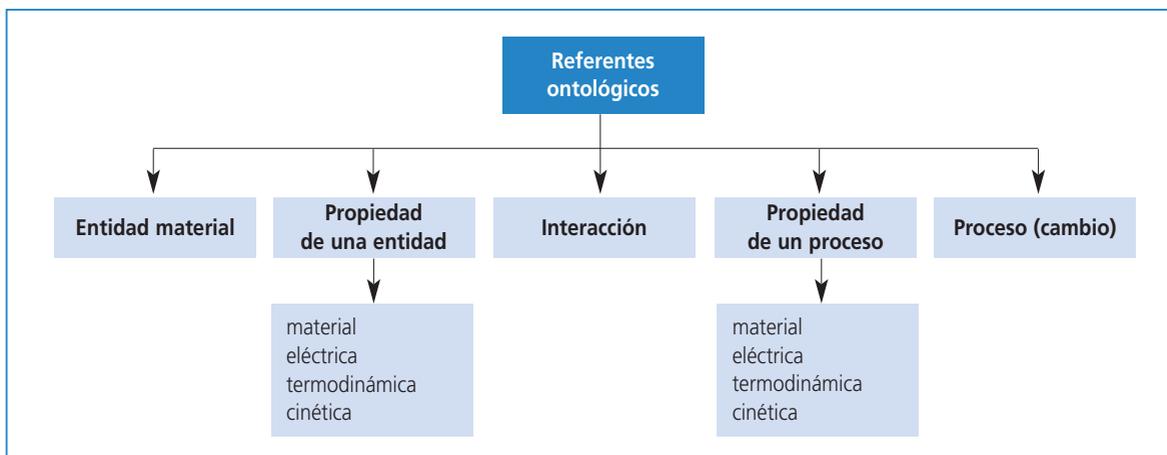
Consideramos real todo aquello que existe o tiene lugar y toda interacción o propiedad que se puede medir directa o indirectamente. La realidad química puede ser una *entidad material* (por ejemplo, una sustancia o un átomo), una *interacción* eléctrica entre partículas (fuerzas intermoleculares, un enlace entre átomos), un *proceso* (disolución, reacción química, mecanismo de reacción), *una propiedad de una entidad material* (la presión de un gas, la masa molecular, la carga eléctrica de un ión, la velocidad de una molécula, la energía cinética de una molécula) o una *propiedad de un proceso* (por ejemplo, el avance de una reacción, la energía de una reacción, la energía de ionización de un átomo, la energía de un enlace). El cuadro 7 resume estos cinco tipos de referentes ontológicos.

Las propiedades, tanto de las entidades como de los procesos, pueden ser *materiales* (volumen molecular, masa molar), *eléctricas*

(momento dipolar de una molécula), *termodinámicas* (temperatura, energía cinética molar, entalpía de una sustancia o de una reacción, entropía de una sustancia o de una reacción) o *cinéticas* (velocidad de reacción, energía de activación, mecanismo de una reacción).

■ Grado de realidad ontológica de los conceptos y modelos

No todos los conceptos tienen un referente con el mismo *grado de realidad ontológica*. En el nivel macroscópico el referente son sustancias o procesos perceptibles directamente por los sentidos, que nadie pone en duda. En el nivel submicroscópico, a pesar de no ver directamente los átomos, hemos llegado a hablar de ellos con la convicción de que existe un referente real, si bien solo podemos conocerlos a través de una representación mental. Existen, sin embargo, propiedades medibles atribuibles a los átomos. Por otro lado, los conceptos de interacción o de propiedades como la energía son siempre más abstractos o teóricos que los conceptos relativos a entidades materiales.



Cuadro 7. Tipos de referentes ontológicos en química: entidades, interacciones, procesos y propiedades. Pueden ser macroscópicos, submicroscópicos o intermedios

El carácter ontológico de las propiedades se evidencia mediante un proceso de medición que confiere a éstas la categoría de magnitudes fisicoquímicas

Existen conceptos matemáticos que no tienen una correspondencia ontológica. Por ejemplo, cuando los químicos llaman «orbital» a la «función de onda» de un electrón en un átomo, no existe nada en la realidad que sea un orbital. La representación que hacemos de los orbitales es un modelo material de la densidad electrónica en el espacio, no de la función de onda, que es un concepto matemático (Scerri, 2000). Se trata, por tanto, de un modelo icónico construido por los químicos para explicar un fenómeno del que solo hay evidencia experimental indirecta a través de los niveles de energía de los electrones.

■ Relación entre los modelos mentales y las representaciones simbólicas

El concepto o representación mental se construye a partir de las imágenes sensibles (cuando se trata de objetos, sustancias o procesos macroscópicos), pero también a partir de las representaciones simbólicas, icónicas y formales (cuando se trata de interacciones, procesos o propiedades submicroscópicas). Por tanto, en los niveles intermedio y submicroscópico existe un cierto solapamiento entre representación mental (concepto) y representación simbólica. De hecho, no podemos imaginarnos un átomo si no es a través de algunos de los modelos representacionales que corresponden al nivel simbólico o analógico del concepto.

El componente representacional tiene una clara función comunicativa, pero también constituye un instrumento para pensar, explicar y

predecir. Pensamos a través del lenguaje verbal y a través del lenguaje gráfico y simbólico. Dicho de otro modo, estos elementos representacionales son también modelos.

■ Estructura conceptual de la química

Estamos ahora en disposición de intentar sistematizar la estructura conceptual de la química atendiendo a los conceptos que hacen referencia a las entidades materiales, a las interacciones, a los procesos (cambios) que estas entidades sufren y a las propiedades asociadas a cada una de estas entidades o procesos. El carácter ontológico de estas propiedades se evidencia mediante un proceso de medición que confiere a las propiedades la categoría de magnitudes fisicoquímicas.

Es conveniente diferenciar entre propiedades *materiales*, *eléctricas*, *termodinámicas* y *cinéticas*. También es útil diferenciar entre *propiedades extensivas* (dependen de la cantidad de sustancia que se considera) e *intensivas* (no dependen de la cantidad de sustancia que se considera), y apreciar que las *propiedades molares* son una forma de hacer intensivas las propiedades extensivas. La constante de Avogadro (N_a) actúa de puente entre las propiedades microscópicas y las propiedades macroscópicas molares (por ejemplo, la relación entre la masa molar de una sustancia y la masa de una molécula es $M = N_a \cdot m$).

Sin pretender ser exhaustivos, el cuadro 8 contiene la mayor parte de los conceptos que se utilizan en el currículo de química de la educación secundaria, clasificados de acuerdo con los criterios que acabamos de establecer, y los elementos representacionales más usuales. Este cuadro constituye una revisión de la clasificación de conceptos que realizamos en un artículo sobre el aprendizaje de la terminología científica (Caamaño, 2003, p. 6).

| Nivel | Conceptos y modelos mentales | Elementos representacionales |
|--|--|--|
| Entidades materiales y estructura | | |
| Macroscópico | Material, sustancia, mezcla, elemento, sustancia elemental, compuesto químico, componente de una mezcla, ácido, base, sal, oxidante, reductor, instrumentos de laboratorio y de medida, electrodo, pila. | Términos verbales, esquemas clasificatorios de los diferentes tipos de materiales y sustancias, fórmulas con el estado físico de la sustancia, esquemas de los instrumentos de laboratorio y de medida. |
| Intermedio | Estructura multimolecular, estructura gigante (multiatómica o multiiónica). | Diagramas y modelos multimoleculares, multiiónicos o multiatómicos. |
| Submicroscópico | <ul style="list-style-type: none"> Partícula, átomo, molécula, ión, unidad fórmula, núcleo, electrón. Especie intermedia, estado de transición o complejo activado. | Símbolo químico, fórmula molecular, fórmula molecular estructural, fórmula de un ión, fórmula de una unidad fórmula, diagrama de Lewis de un átomo o de una molécula, diagrama de la estructura electrónica de un átomo, globos de carga eléctrica para representar pares de electrones de valencia, diagrama molecular, modelo molecular. |
| Interacciones eléctricas | | |
| Submicroscópico | <ul style="list-style-type: none"> Enlace covalente en una molécula. Enlace de hidrógeno entre moléculas. Fuerzas intermoleculares: fuerza de dispersión, fuerza dipolo-dipolo, fuerza dipolo-dipolo inducido. Fuerzas ión-dipolo. | Línea continua entre símbolos de átomos, línea discontinua, diagrama fuerza-distancia interatómica. |
| Intermedio | <ul style="list-style-type: none"> Enlaces covalentes en una estructura reticular. Interacción electrostática entre los iones de una estructura iónica. Interacción entre iones positivos y electrones deslocalizados en una estructura metálica. | Representación de los electrones de valencia mediante puntos o sombreado en los diagramas multiatómicos y multiiónicos. |
| Propiedades materiales de una entidad o de un sistema | | |
| Macroscópico | <ul style="list-style-type: none"> <i>Extensivas</i>: masa, volumen, cantidad de sustancia. <i>Intensivas</i>: densidad, composición atómica de un compuesto, composición de una mezcla, concentración en masa, concentración en cantidad de sustancia, fracción molar. <i>Intensivas molares</i>: masa molar, volumen molar. | Símbolos de las magnitudes. |





| Propiedades materiales de una entidad o de un sistema | | |
|---|---|--|
| Intermedio | Número de moléculas por unidad de volumen. | Diagramas representando las partículas de soluto y de disolvente en una disolución. |
| Submicroscópico | Número atómico, número másico, masa atómica en un gas o una disolución, masa atómica relativa, masa molecular, masa molecular relativa, volumen atómico, volumen iónico, composición atómica de una molécula o de una unidad fórmula. | Símbolos de las magnitudes, subíndices de la fórmula de una molécula o de una unidad fórmula. |
| Propiedades eléctricas de una entidad o de un sistema | | |
| Macroscópico | Carga eléctrica, FEM, potencial de electrodo, conductividad eléctrica. | Símbolos de las magnitudes. |
| Submicroscópico | Carga iónica, polarizabilidad de un átomo o de una molécula, electronegatividad de un átomo, valencia covalente, momento dipolar de una molécula. | Símbolos de las magnitudes, vector del momento dipolar, diagrama de distribución de la carga en una molécula. |
| Propiedades térmicas o termodinámicas de un sistema | | |
| Macroscópico | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Intensivas</i>: presión, temperatura, punto de fusión, punto de ebullición, solubilidad, presión de vapor, constante de equilibrio. • <i>Extensivas</i>: energía interna, entalpía, entropía y energía de Gibbs de una sustancia, energía de Gibbs de un sistema reaccionante.¹ • <i>Intensivas molares</i>: valores molares de todas las propiedades extensivas anteriores. Energía cinética molar de un gas. Energía reticular molar. Energías potenciales molares asociadas a un tipo de fuerza intermolecular, etc. | Símbolos de las magnitudes, diagramas de fases, diagramas de equilibrio químico, diagramas de niveles de entalpía o de energía de Gibbs. |
| Submicroscópico | Energía de un átomo, velocidad de una molécula, energía de una molécula (traslacional, rotacional, vibracional, electrónica), energía de enlace (energía de disociación de un enlace), energía potencial intermolecular (de un par de moléculas), energía reticular por unidad fórmula, energía de ionización de un átomo o de una molécula, electroafinidad. ² | Símbolos de las magnitudes, diagramas de niveles de energía de un átomo o de una molécula, diagramas de distribución de la energía entre las partículas, diagramas de energía potencial en función de la distancia interatómica. |
| Intermedio | Velocidad molecular media, energía cinética molecular media, distribución de energías moleculares de Maxwell-Boltzmann. | Símbolos de las magnitudes, diagrama de distribución de energías cinéticas moleculares de Maxwell-Boltzmann. |
| Propiedades cinéticas de una entidad | | |
| Submicroscópico | Energía del estado de transición. | Diagrama energía-coordenada de reacción. |





| Nivel | Conceptos y modelos mentales | Elementos representacionales |
|---|--|--|
| Procesos físicos y químicos | | |
| Macroscópico | Cambio de estado, disolución, métodos de separación de sustancias, reacción química, equilibrio de cambio de estado, equilibrio químico, técnicas volumétricas, etc. | Dibujos, esquemas, diagramas, espectros, cromatogramas, ecuación química con símbolos del estado físico de las sustancias en las fórmulas. |
| Intermedio | Sistema reaccionante a nivel multimolecular o multiatómico, equilibrio dinámico molecular. | Diagrama multimolecular-multiatómico de un sistema reaccionante (en un instante determinado) o de una reacción química (estados inicial y final), diagramas de equilibrios físicos o químicos con flechas que indican velocidades. |
| Submicroscópico | Reacción química a nivel atómico-molecular, reacción elemental, mecanismo o secuencia de reacciones elementales. | Ecuación química atómico-molecular, coeficientes estequiométricos, ecuaciones químicas de los pasos elementales de una reacción química, doble flecha de equilibrio. |
| Propiedades materiales de un proceso | | |
| Macroscópico | Avance de una reacción, grado de disociación, cociente de una reacción, constante de equilibrio. | Símbolos de las magnitudes. |
| Propiedades termodinámicas de un proceso | | |
| Macroscópico | Valores molares: energía de reacción, entalpía de reacción, energía de disociación, energía reticular, entropía de reacción, energía de Gibbs de la reacción. | Símbolos de las magnitudes molares, diagrama de niveles de entalpía de reactivos y productos de una reacción. |
| Submicroscópico | Energía de ionización de un átomo, energía de disociación de una molécula, energía reticular de una unidad fórmula. | Símbolos, diagramas de niveles de energía. |
| Propiedades cinéticas de la reacción química | | |
| Macroscópico | Velocidad de reacción, constante de velocidad, energía de activación molar de una reacción química. | Símbolos de las magnitudes, ecuación cinética. |
| Submicroscópico | Energía de activación de una reacción a nivel atómico-molecular, energía de activación de una reacción elemental. | Símbolos de las magnitudes, ecuaciones de las reacciones elementales, diagrama energía-coordenada de reacción. |
| Intermedio | Frecuencia de choques, fracción de choques eficaces. | Símbolos, representación gráfica de la fracción de moléculas con una energía superior a la energía de activación. |

Cuadro 8. Conceptos y modelos químicos referidos a entidades materiales, interacciones, procesos y propiedades (materiales, eléctricas, termodinámicas y cinéticas) de las entidades y de los procesos en los tres niveles. Se especifican también algunos elementos representacionales comúnmente usados

Esta clasificación conceptual de la química puede ser contrastada con la clasificación propuesta por William B. Jensen (1998) basada en tres dimensiones –composición y estructura, energía y tiempo– y en tres niveles conceptuales –molar, molecular y eléctrico–.

En la estructura conceptual de la química que proponemos, se considera la composición como una propiedad de las entidades materiales; la estructura, como una característica espacial de estas entidades; la energía, como una propiedad termodinámica, y el tiempo se relaciona con las propiedades cinéticas. El nivel conceptual eléctrico está considerado como interacción eléctrica o como propiedad eléctrica, y los niveles molar y molecular corresponden a los niveles macroscópico (molar) y submicroscópico, respectivamente.

■ Secuenciación conceptual del currículo de química

La selección, estructuración y secuenciación de los conceptos y modelos en el currículo de química y en los libros de texto tienen una importancia fundamental. Por ejemplo, en la actualidad existe un gran consenso en conceder un carácter central a los conceptos de *sustancia* y de *reacción química* en el currículo de química. Así, por ejemplo, estudios longitudinales (Johnson, 2014) realizados en los últimos años en el Reino Unido han llevado a la conclusión de que la introducción de la química en el currículo inglés de secundaria debería centrarse prioritariamente en el concepto de *sustancia*, en lugar de en las nociones de *sólido*, *líquido* y *gas*, como se ha hecho hasta ahora.

El orden en que se abordan e integran la experiencia y los modelos –macroscópicos, submicroscópicos e intermedios– da lugar a distintas formas de secuenciación. Hay autores

partidarios de dar prioridad al enfoque macroscópico (Tsaparlis, Kolioulis y Pappa, 2010), mientras que otros aducen las ventajas que un enfoque centrado en los átomos supone, por ejemplo, para enseñar el enlace químico (Nahum y otros, 2008). Lo cierto es que en el currículo de los primeros años de la educación secundaria obligatoria es habitual introducir el concepto de *sustancia* primero en un nivel macroscópico y luego en un nivel submicroscópico.

Sin embargo, en los últimos cursos de la educación secundaria (15-16 años) se da generalmente más importancia al enfoque que concede prioridad al estudio del modelo atómico y la estructura electrónica de los átomos –y que podríamos denominar «primero el átomo y las moléculas»–, frente a otro enfoque, que cabría denominar «primero las sustancias», que comienza por el estudio fenomenológico de las sustancias y sus propiedades características y continúa con la caracterización de su estructura intermedia, antes de iniciar la modelización de la estructura interna del átomo y del enlace químico.

El proyecto Química Faraday (Recerca Faraday, 1990) fue un referente para el enfoque «primero las sustancias» en el currículo español de los años ochenta y noventa. En este proyecto de química para alumnos de 15 y 16 años se abordaba la organización de los conceptos químicos siguiendo una secuenciación que partía de los conceptos macroscópicos de *sustancia*, *sustancia elemental* y *compuesto químico*, para a continuación introducir los conceptos submicroscópicos de *corpúsculo* (partícula), *átomo* y *molécula* y los conceptos intermedios de *estructura multimolecular* y *estructura gigante*, lo que permitía redefinir los conceptos de *sustancia*, *sustancia elemental* y *compuesto* desde el punto de vista submicroscópico (Caamaño, 2011a).

Taber (2013) ha sugerido que la enseñanza de la química debe incluir de forma integrada los conceptos macroscópicos y submicroscópicos y las formas estándar de vocabulario y de representación simbólica de los conceptos. Esta integración implica también una secuenciación, que puede llevarse a cabo teniendo en cuenta, por un lado, las cuestiones que han surgido en la historia de la química y los modelos que han sido propuestos y, por otro, la mejor forma en que estos modelos pueden ser reconstruidos por los alumnos a partir del conocimiento de sus formas de razonamiento (Caamaño, 2011b).

Por lo que se refiere a las formas de representación simbólica, creemos que debe darse prioridad a la representación estructural de las sustancias y de las moléculas frente a la representación simbólica (formulación y escritura de ecuaciones), dado el mayor grado de abstracción que estas representaciones suponen.

Una nueva línea de investigación centrada en la *progresión del aprendizaje* del pensamiento químico (Sevian y Talanquer, 2014) permitirá aportar interesantes resultados al problema de la secuenciación.

■ Conclusiones

En el presente artículo hemos abordado la estructura conceptual de la química a partir de sus componentes ontológico, conceptual y representacional, hemos elaborado un mapa conceptual de los distintos tipos de referentes ontológicos (entidades, interacciones, procesos y propiedades de entidades y procesos) y hemos establecido un cuadro clasificatorio de los principales conceptos y elementos representacionales que se utilizan en el currículo de química de la educación secundaria.

A continuación, nos hemos referido a la importancia de la selección y la secuenciación de

los conceptos y los modelos en los niveles macroscópico, submicroscópico e intermedio, así como de los elementos representacionales.

Confiamos en que el esquema conceptual propuesto, basado en el triplete «realidad, modelos mentales y modelos representacionales» en los niveles macro, submicro e intermedio, sea un esquema útil para proseguir las reflexiones e investigaciones didácticas sobre la forma más apropiada de abordar la modelización de las entidades, las interacciones, los procesos y las propiedades químicas en la enseñanza de la química, y de integrar los modelos y formas de representación en los tres niveles: macroscópico, intermedio y submicroscópico.

Notas

* AGRADECIMIENTOS. Agradezco a Vicente Talanquer y a José Antonio Chamizo la revisión del manuscrito y las interesantes sugerencias que me han hecho para mejorar la comprensión del texto y perfilar mejor algunos conceptos.

1. Exceptuando las entropías absolutas, el resto de las magnitudes termodinámicas de una sustancia se calculan en relación con un proceso (por ejemplo, la entalpía de un compuesto corresponde a su entalpía de formación a partir de las sustancias elementales).
2. Nótese que algunas de estas propiedades, aunque atribuidas a un átomo, a una molécula o a una unidad fórmula, corresponden a un proceso: la ionización de un átomo, la formación de un enlace o la formación de un cristal iónico.

Referencias bibliográficas

CAAMAÑO, A. (1993): *Concepcions dels alumnes sobre la composició i estructura de la matèria i sobre el canvi químic. Comprensió de les formes simbòliques de representació*. Tesis doctoral no publicada. Universidad de Barcelona.

- CAAMAÑO, A.; CASASSAS, E. (1993): «Análisis y secuenciación de los contenidos del área conceptual de la materia en la enseñanza secundaria. Niveles estructurales y nivel representacional de la materia». *Enseñanza de las Ciencias*, número extra IV Congreso, 31-32, p. 12.
- CAAMAÑO, A. (1998a): «Materia y materiales en la enseñanza secundaria. Los niveles estructurales de la materia». *Aula de Innovación Educativa*, núm. 69, pp. 6-12.
- (1998b): «Problemas en el aprendizaje de la terminología científica». *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 17, pp. 5-10.
- (2011a): «Sustancias químicas elementales y compuestos químicos. Una propuesta didáctica con un enfoque investigativo y de modelización en los niveles macroscópico y submicroscópico». *Investigación en la Escuela*, núm. 74, pp. 45-58.
- (2011b): «Enseñar química mediante la contextualización, la indagación y la modelización». *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 69, pp. 21-34.
- (2013): «El carácter interpretativo del lenguaje científico». *Textos de Didáctica de la Lengua y la Literatura*, núm. 64, pp. 9-22.
- CAAMAÑO, A.; OÑORBE, A. (2004): «La enseñanza de la química: conceptos y teorías, dificultades de aprendizaje y replanteamientos curriculares». *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 41, pp. 68-81.
- CAAMAÑO, A., IRAZOQUE, G. (2009): «La enseñanza y el aprendizaje de la terminología química: magnitudes y símbolos». *Educación Química EduQ*, núm. 3, pp. 46-55.
- CABRÉ, M.T. (1999): *La terminología. Representación y comunicación*. Barcelona, IULA, Universitat Pompeu Fabra.
- CHAMIZO, J.A. (2010): «Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias». *Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, núm. 7, pp. 26-41.
- (2011): «A New Definition of Models and Modeling in Chemistry's Teaching». *Science & Education*, núm. 22, pp. 1613-1632.
- GABEL, D.L. (1993): «Use of the particle nature of matter in developing understanding». *Journal of Chemical Education*, vol. 70(3), p. 193.
- GRUP RECERCA-FARADAY (1990): *Química Faraday*. Barcelona. Teide.
- JENSEN, W. (1998): «Logic, History, and the Chemistry Textbook. I. Does Chemistry Have a Logical Structure?». *Journal of Chemical Education*, vol. 75(6), pp. 679-687.
- JOHNSTONE, A.H. (1982): «Macro and micro chemistry». *School Science Review*, núm. 64, pp. 377-379.
- JOHNSON, P. (2014): «An evidence-based approach to introductory chemistry». *School Science Review*, vol. 95(352), pp. 89-97.
- MARTÍNEZ, A., y otros (2012): «Estructura de la materia: de saberes y pensares». *Educación Química*, vol. 23(3), pp. 361-369.
- NAHUM, L.T., y otros (2008): «A New "Bottom-Up" Framework for Teaching Chemical Bonding». *Journal of Chemical Education*, vol. 85(12), pp. 1680-1685.
- SANTAMARÍA, I. (2006): *La terminología: definición, función y aplicaciones* [en línea]. <www.liceus.com>.
- SCERRI, E. (2000): «Have orbitals really been observed?». *Journal of Chemical Education*, núm. 69, pp. 633-636.
- SEVIAN, H.; TALANQUER, V. (2014): «Rethinking chemistry: a learning progression on chemical thinking». *Chemistry Education: Research and Practice*, núm. 15, pp. 10-23.

TABER, K.S. (2013): «Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education». *Chemistry Education: Research and Practice*, vol. 14(2), pp. 156-168.

TALANQUER, V. (2011): «Macro, submicro, and symbolic: the many faces of the chemistry “triplet”». *International Journal of Science Education*, vol. 33(2), pp. 179-195.

TSAPARLIS, G.; KOLIOULIS, D.; PAPPA, E. (2010): «Lower-secondary introductory chemistry course: a novel approach based on science-education theories, with emphasis on the macroscopic approach,

and the delayed meaningful teaching of the concepts of molecules and atom». *Chemistry Education: Research and Practice*, vol. 11(2), pp. 107-117.

Dirección de contacto

Aureli Caamaño

Societat Catalana de Química

Institut d'Estudis Catalans

acaamano@xtec.net

Este artículo fue solicitado por ALAMBIQUE. DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES en febrero de 2014 y aceptado en junio de 2014 para su publicación.