

Algunas reflexiones sobre la Química y su enseñanza en los niveles educativos pre - universitarios.

Resumen

Se hace aquí una muy breve síntesis de algunos aspectos de la ciencia Química que se consideran centrales en relación con la enseñanza de la Química, con especial mención de aquellos que se vinculan con la problemática del aprendizaje de modelos y el manejo interrelacionado de los tres niveles de representación (descriptivo, explicativo y simbólico).

Introducción

A la hora de pensar en la enseñanza de la Química, se nos hace presente el importante bagaje de conceptos, modelos y símbolos que involucra, se nos vienen a la memoria los programas de Química cargados de ellos. En un trabajo reciente, Galagovsky (2005) reflexiona acerca de esta situación vinculándola con la formación altamente academicista de quienes han tenido la responsabilidad de decidir el contenido de los currículos de Química para los diferentes niveles educativos, situación que resulta similar en diversas partes del mundo. Dice en relación con ello: *Es muy interesante notar que el listado de contenidos a ser enseñados en la asignatura escolar Química es prácticamente el mismo, casi independientemente del ciclo educativo en el que nos fijemos; con algunos subtítulos menos, se trata de los temas mencionados en la primera materia de la Universidad (Química General).*

Pero la Química, tal como la concebimos, no es esa larga lista de conceptos y modelos. Se trata, desde el punto de vista conceptual, de un entramado sobre el que se sustenta todo el conocimiento acerca de la relación existente entre la estructura de las sustancias y sus propiedades.

Rocha, A. (2005). *Algunas reflexiones sobre la Química y su enseñanza en los niveles educativos pre-universitarios*. En "Las disciplinas, las áreas: problemática de su enseñanza". Serie Cuadernos de Educación y Prácticas Sociales. CIPT-UNCPBA (2005).

La Química y su entramado conceptual

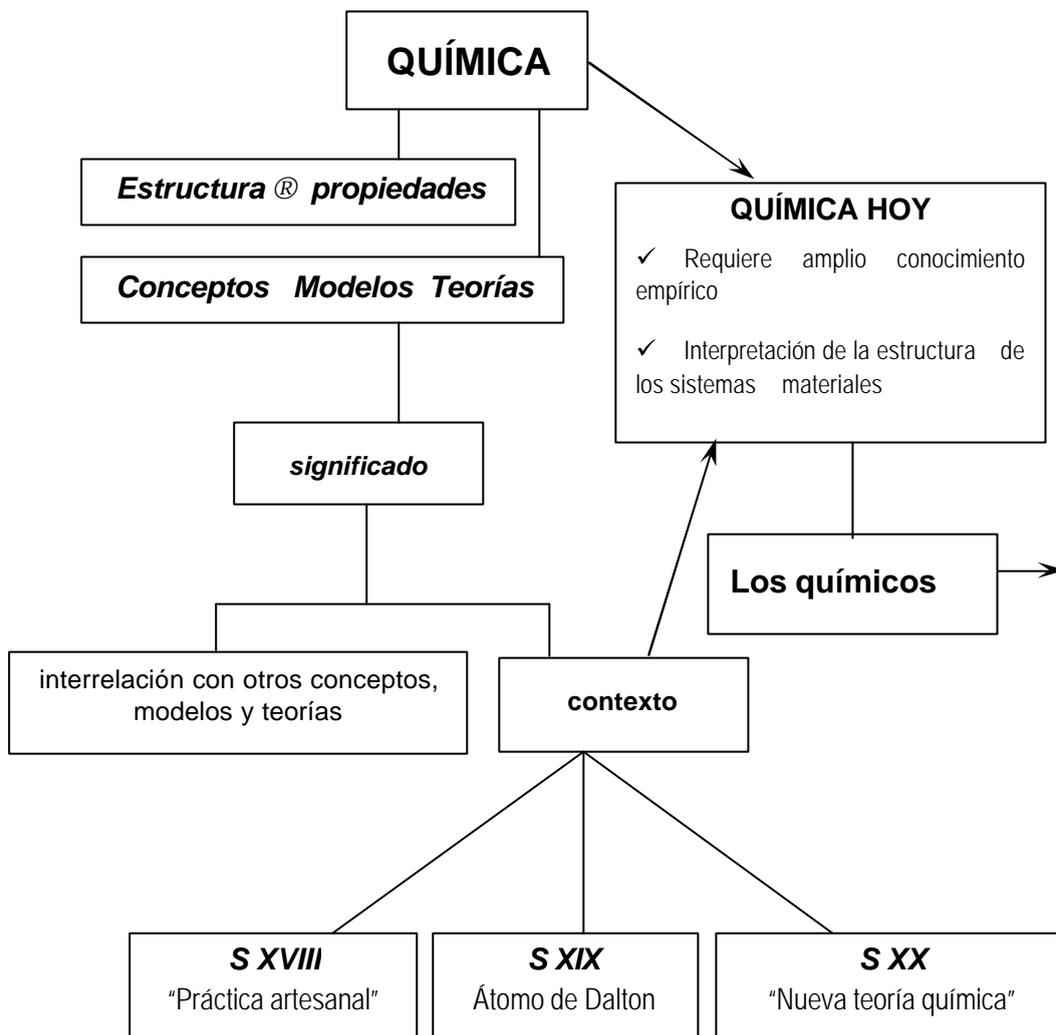
En Química, los conceptos de átomo, compuesto, reacción química y otros tales como algunos de los principales conceptos de la Termodinámica, forman un entramado conceptual con una característica esencial: el significado de un concepto específico está determinado por su interrelación con otros, generándose así una trama conceptual que determina el contexto en el que ese significado específico tiene sentido (figura 1).

Los conceptos de cambio químico, sustancia compuesta, elemento químico y átomo químico tienen un significado en el siglo XIX, que difiere bastante del que se acepta actualmente, pero que constituye la base sobre la cual es posible interpretar algunos conceptos o modelos de uso frecuente en el campo de esta ciencia. Una cuestión interesante de analizar es cómo han ido cambiando, en los diferentes contextos históricos, los significados de conceptos centrales en Química. Estos cambios, aún de categoría ontológica, tienen fundamental importancia para estudiar lo que ocurre con la enseñanza de esta ciencia.

Para Lavoisier (1743 - 1794), fundador de la química moderna, elemento y sustancia simple eran sinónimos; para Prout (1785 - 1850), las sustancias simples evolucionan a partir de un único elemento. Mendeleiev (1834 - 1907) establece una distinción entre ambos conceptos; para él las propiedades de los cuerpos simples y compuestos dependen de una función periódica de los pesos atómicos de los elementos que los constituyen y ello conlleva una consecuencia muy relevante para la Química: el concepto de elemento se convierte en un principio explicativo (Bensaude - Vincent; 1991). Las sustancias simples son concretas, tienen propiedades determinadas por la experiencia, el elemento continúa oculto en las sustancias simples y compuestas; no tiene existencia fenoménológica. Para Mendeleiev, la palabra elemento "evoca la idea de átomo". El átomo de Dalton, considerado una entidad teórica cuya principal característica era la masa, permitió no sólo explicar las relaciones de masa en las reacciones químicas sino también, aplicado al concepto de elemento, fundamentar el sistema periódico de Mendeleiev (Izquierdo, 2005).

Rocha, A. (2005). *Algunas reflexiones sobre la Química y su enseñanza en los niveles educativos pre-universitarios*. En "Las disciplinas, las áreas: problemática de su enseñanza". Serie Cuadernos de Educación y Prácticas Sociales. CIPTE-UNCPBA (2005).

En el siglo XX, nace una nueva teoría química que permite “inventar” materiales a partir de las “propiedades” de los átomos. El trabajo de Bohr, culminará en la elaboración del primer modelo atómico capaz de reconciliar las leyes generales de la mecánica con el carácter específico del



elemento químico, permitiendo articular la especificidad química con la descripción del comportamiento de los electrones. Hoy, los conceptos de elemento y compuesto sólo se pueden diferenciar si se hace uso de modelos moleculares que permitan su interpretación. A pesar de ello, aún persiste en la enseñanza la idea de diferenciarlos en términos macroscópicos, como puede apreciarse por la presencia en algunos textos de química de frases tales como: “los elementos son aquellas sustancias que no se pueden descomponer por procedimientos químicos sencillos”.

La fuerte interdependencia de los conceptos y modelos de su contexto de utilización, esto es, la indispensable vinculación entre la teoría química y su utilización para la interpretación de las propiedades de las sustancias y el comportamiento de los sistemas hace de esta ciencia un objeto de estudio cuya enseñanza requiere especial cuidado en la selección del contenido, como se discute en varios momentos en este mismo trabajo.

La práctica química y los tres niveles de representación

Otro aspecto relevante de la práctica de la ciencia química que se pretende destacar en este trabajo se relaciona con el hecho de que los químicos trabajan cotidianamente a distintos niveles de representación y explicación, de forma integrada y haciendo uso de los diferentes "herramientas" propias de cada uno de ellos y lo hacen, sin ser conscientes de ello.

Johnstone (1982) denomina a esos tres niveles: descriptivo y funcional, de representación y explicativo. En el nivel descriptivo y funcional los químicos manejan, observan y describen propiedades (en términos de color, dureza, etc.) de los materiales como así también las transformaciones de unos materiales en otros, reconocidas a través del cambio en las propiedades. Para explicar que las sustancias químicas se comportan de determinada manera recurren a átomos, moléculas, iones, esto es, al nivel explicativo. La forma de representar esas sustancias y los cambios que ocurren, esto es, las fórmulas químicas y las ecuaciones, constituyen las principales herramientas del nivel de representación.

Tener un amplio conocimiento empírico del comportamiento de las sustancias es una habilidad muy importante para un químico, tanto como saber formular, pero ese conocimiento se completa

Rocha, A. (2005). *Algunas reflexiones sobre la Química y su enseñanza en los niveles educativos pre-universitarios*. En "Las disciplinas, las áreas: problemática de su enseñanza". Serie Cuadernos de Educación y Prácticas Sociales. CIPTE-UNCPBA (2005).

con la interpretación de la estructura de los sistemas materiales, que permite elaborar explicaciones.

Para conseguir una adecuada interpretación de cada uno de los conceptos químicos es necesario trabajarlos a nivel macroscópico, microscópico y simbólico. Por ejemplo, el concepto de sustancia pura puede ser interpretado

- ✓ a nivel macro: una sustancia pura tiene propiedades que la caracterizan
- ✓ a nivel micro: una sustancia pura está formada por partículas iguales (átomos, moléculas o iones)
- ✓ a nivel simbólico: una sustancia pura puede representarse por una fórmula o por un símbolo químico.

En la figura 2 se representa la interrelación entre los dos aspectos de la Química (su práctica y su enseñanza) que se discuten brevemente en este apartado.

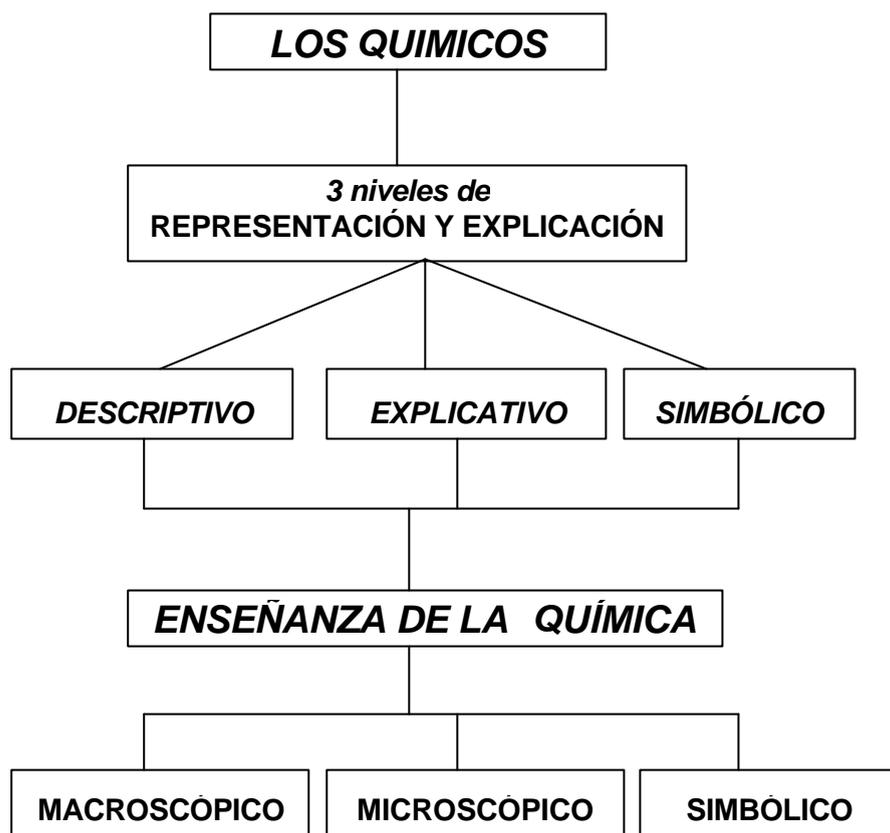


Fig. 2. La práctica de la Química y su enseñanza

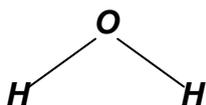
El experto puede utilizar complementariamente diferentes lenguajes y niveles de pensamiento y representación de manera integrada. Cuando los profesores usamos diferentes “lenguajes” en clase, en realidad estamos manejando una cantidad de información implícita, a la vez que nos movemos de uno a otro nivel de representación, muchas veces sin ser conscientes de ello.

Cuando el siguiente ejercicio se le propone a un grupo de docentes, por ejemplo, en una sesión de discusión en el marco de alguna propuesta de formación continua, surgen respuestas tales como las que se transcriben a la derecha de cada representación.

Rocha, A. (2005). *Algunas reflexiones sobre la Química y su enseñanza en los niveles educativos pre-universitarios*. En “Las disciplinas, las áreas: problemática de su enseñanza”. Serie Cuadernos de Educación y Prácticas Sociales. CIPTÉ-UNCPBA (2005).

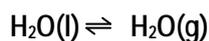
Un ejercicio de reflexión (este ejercicio se ha trabajado en el marco de seminarios de reflexión con docentes de ciencias de nivel Polimodal)

Analizar la información que encierra para un docente de Química cada una de las siguientes representaciones:



Se trata de la molécula de agua, formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno.

Posee dos enlaces iguales O-H que forman en el plano un ángulo de aproximadamente 100 grados



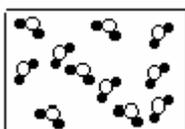
Sistema de evaporación / condensación de agua en equilibrio.

Sistema cerrado a temperatura constante

Macroscópicamente el sistema no cambia

La evaporación y la condensación ocurren simultáneamente a igual velocidad

Coexisten de las dos fases en el mismo recipiente.



Porción de un recipiente que contiene agua en estado vapor

(Surge además, la discusión de las dificultades propias de este tipo de representaciones cuando se trabajan con los alumnos)

Aparecen pocas referencias a los aspectos macroscópicos de los sistemas y sustancias representados. Completar este ejercicio implicaría pensar ahora qué significado tiene, para un estudiante cada una de las representaciones anteriores. La dificultad para entender la Química no está en la existencia de los tres niveles de representación de la materia, sino en que la mayor

parte de la enseñanza se desarrolla en los niveles microscópico y simbólico (Johnstone, 1999), sin la correspondiente vinculación con el nivel macroscópico, experiencial.

Una breve reflexión en ese sentido, por ejemplo puede hacerse asociada a una situación que se da en los cursos básicos de Química de introducción a la Universidad, cuando se enseña Equilibrio Químico. Una práctica de laboratorio habitual es la que se describe a continuación:

Se trabaja con el sistema $\text{NO}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4 (\text{g})$

El NO_2 es un gas color pardo, mientras que el N_2O_4 es un gas incoloro. El sistema formado por $\text{NO}_2 (\text{g}) / \text{N}_2\text{O}_4 (\text{g})$, contenido en un recipiente cerrado e inicialmente a determinada temperatura, se decolora cuando se enfría.

La observación puede ser interpretada por un químico en términos de estados diferentes de equilibrio del sistema, a cada temperatura; en cada uno de los cuales coexisten los dos óxidos, en una relación de concentraciones determinada, a esa temperatura.

Para un alumno novato, el cambio de color podría estar representando, por ejemplo, que una sustancia (NO_2 : pardo) se transformó en otra diferente (N_2O_4 : incoloro), dado que ello coincide con su experiencia previa con reacciones químicas en las que no se ha alcanzado el equilibrio y cuya representación, sería similar a la anterior. Para el caso del sistema que se considera aquí: $\text{NO}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4 (\text{g})$

El docente cuando desarrolla con sus alumnos una explicación de lo observado como la que se plantea en el ejemplo antes citado, está pensando en los tres niveles representacionales propuestos por Johnstone simultáneamente, aunque, en su discurso sólo explicita información en cada uno de ellos alternativa y secuencialmente y, en general, no es consciente de la complejidad que conlleva para el estudiante, procesar toda la información que se pone en juego. Tampoco tiene en cuenta que para sus alumnos, muchas de las explicaciones y representaciones no tienen anclaje directo en la percepción macroscópica de lo que están estudiando.

Enseñar Química implica, trabajar a los tres niveles de representación (macro, micro y simbólico) de los mismos fenómenos, de manera que estén perfectamente conectados unos con otros durante la instrucción, para que el alumno pueda conseguir una adecuada comprensión. Todo lo

Rocha, A. (2005). *Algunas reflexiones sobre la Química y su enseñanza en los niveles educativos pre-universitarios*. En "Las disciplinas, las áreas: problemática de su enseñanza". Serie Cuadernos de Educación y Prácticas Sociales. CIPTE-UNCPBA (2005).

anterior tiene sentido para el alumno cuando se le presenta interrelacionado de manera adecuada.

Aquí es necesario llamar la atención porque muchos de los problemas de aprendizaje que se han detectado en Química tendrían relación con dificultades de comprensión conceptual que podrían ser el resultado de un trabajo poco integrado en los tres niveles de pensamiento a que se hace referencia.

La enseñanza de la Química en Enseñanza Secundaria Básica (ESB) y Polimodal

Una de las decisiones habitualmente más compleja, cuando se enseña Química es la que corresponde a la elección del modelo de materia más adecuado a enseñar. Es importante tener en cuenta que el modelo ha de ser asequible y útil a los estudiantes en cuestión. Esto es, el modelo de materia a proponer en cada momento ha de ser adecuado a las capacidades del alumno en cuestión, a su nivel cognitivo, y ha de tener una eficaz capacidad explicativa.

A nivel de ESB la crítica más frecuente ha sido que el contenido químico se incluye muchas veces en las clases, como mera información o descripción de fenómenos. En este nivel, la enseñanza debería apuntar al aprendizaje de conceptos y modelos que le permitan al estudiante interpretar las propiedades de los sistemas materiales y sus cambios. La enseñanza del contenido químico debería orientarse a potenciar las relaciones existentes entre las propiedades, el comportamiento de los sistemas químicos y la estructura de las sustancias que los constituyen (García - Rodeja, 1987). En este nivel el alumno usa un modelo de materia sencillo que le permite explicar por ejemplo los cambios de estado, la disolución de una sal en agua o la difusión de una gota de tinta en un líquido. Este modelo le permite también interpretar más profundamente uno de los conceptos básicos en Química, como es el de sustancia pura.

Modelo	Principal característica	Permite interpretar
"Partículas"	Discontinuidad	Sólido/Líquido/Gas
Átomo de Dalton	Masa	Elemento, Compuesto

Rocha, A. (2005). *Algunas reflexiones sobre la Química y su enseñanza en los niveles educativos pre-universitarios*. En "Las disciplinas, las áreas: problemática de su enseñanza". Serie Cuadernos de Educación y Prácticas Sociales. CIPT-UNCPBA (2005).

Átomo de Bohr	Cuantificación de carga y energía	Fuerzas electromagnéticas, niveles energéticos, periodicidad
Mecanocuántica	Estructura de Lewis	Enlace
Indeterminación	Teoría de Orbitales Moleculares	Geometría molecular

Con la introducción de las nociones de átomo y molécula, es posible diferenciar a nivel de estructura microscópica, las nociones de elemento y compuesto. Cuando se introduce un modelo sencillo de átomo es posible analizar la periodicidad de las propiedades de los elementos y la introducción de los modelos más simples de enlace químico pueden introducirse relacionados con algunas propiedades características de sustancias sencillas (Bertelle y Rocha, 2000). En nuestros días, la práctica química sigue usando los modelos de Dalton y de Bohr y éstos continúan siendo fundamentales para dar significado al modelo mecanocuántico.

Es habitual encontrar que los estudiantes de Polimodal han de aprender una química que parece dirigida sólo a formar futuros químicos. La excesiva importancia que se da a la formulación y nomenclatura químicas lleva a que los alumnos deban escribir las fórmulas de un importante número de sustancias y nombrarlas adecuadamente, aunque nunca vayan a conocer algo más acerca de ellas (Llorens, 1991). Por otra parte, se enseñan un sin número de conceptos teóricos y modelos que no llevan asociado el correspondiente conocimiento experiencial que pueda ser interpretado a partir de ellos.

Incorporar la enseñanza de la Química para todos los alumnos, desde niveles básicos de enseñanza, requiere reflexionar seriamente sobre cómo seleccionar el contenido más adecuado a llevar al aula y las estrategias docentes para hacerlo.

La Química, como ninguna otra disciplina científica, comprende conceptos que son completamente abstractos, que sirven para interpretar las propiedades macroscópicas de los sistemas materiales y sus cambios. Polvos amarillos pueden ser elementos, sustancias puras o mezclas; líquidos o gases incoloros pueden ser diferentes sustancias o diferentes mezclas... ¿Qué posibilidades cognitivas, desde sus experiencias previas de aprendizaje perceptual, tienen los estudiantes para comprender conceptos químicos abstractos, si ni siquiera conocen esas propiedades macroscópicas? (Galagovsky, 2005)

Rocha, A. (2005). *Algunas reflexiones sobre la Química y su enseñanza en los niveles educativos pre-universitarios*. En "Las disciplinas, las áreas: problemática de su enseñanza". Serie Cuadernos de Educación y Prácticas Sociales. CIPTE-UNCPBA (2005).

Una enseñanza que se dedica fundamentalmente a definir los fundamentos fisicoquímicos de la materia, a desarrollar acriticamente todos los modelos y conceptos que han ido desarrollándose en la Química, no llega a tiempo de trabajar con los materiales, poner en evidencia sus propiedades macroscópicas y utilizar los conceptos y modelos para su interpretación.

Bibliografía

Bertelle, A. y Rocha, A.; 2000. La introducción del modelo de materia en el tercer ciclo de EGB, pp. 67 – 79, En Aportes para la Práctica Docente en Ciencias de la Naturaleza en EGB3. U.N.C.P.B.A. Argentina.

Bensaude – Vincent, B.; 1991. Mendeleiev, historia de un descubrimiento (pp. 516 - 517); en Serres, M. (ed.) Historia de las ciencias. Cátedra. Madrid.

Gabel, D.; 1999. Improving teaching and learning through chemistry education research: a look to the future. . Journal of Chemical Education 76 (4), 548 – 554

Galagowsky, L.; 2005. La enseñanza de la Química pre-universitaria: ¿qué enseñar, cómo, cuánto, para quiénes?. Revista Química Viva N° 1, año 4.

García – Rodeja, E. y otros; 1987. Proyecto AcAb. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Santiago de Compostela. España.

Izquierdo, M.; 2004. Un Nuevo enfoque de la enseñanza de la Química: contextualizar y modelizar. Journal of the Argentine Chemical Society 92 (4-6), 115 – 136.

Rocha, A. (2005). *Algunas reflexiones sobre la Química y su enseñanza en los niveles educativos pre-universitarios*. En "Las disciplinas, las áreas: problemática de su enseñanza". Serie Cuadernos de Educación y Prácticas Sociales. CIPT-UNCPBA (2005).

Johnstone, A.; 1982. Macro and micro-chemistry. *The School Science Review* 64 (227), 377 – 379.

Llorens Molina, J.; 1991. *Comenzando a aprender química. Ideas para el diseño curricular*. Madrid: Visor Aprendizaje.

Rocha, A. (2005). *Algunas reflexiones sobre la Química y su enseñanza en los niveles educativos pre-universitarios*. En "Las disciplinas, las áreas: problemática de su enseñanza". Serie Cuadernos de Educación y Prácticas Sociales. CIPTE-UNCPBA (2005).