

LAS VISIONES DEFORMADAS DE LA CIENCIA EN LA ENSEÑANZA UNIVERSITARIA DE LOS CONCEPTOS DE CANTIDAD DE SUSTANCIA Y MOL

PADILLA¹, K.; FURIÓ-MÁS², C.; y AZCONA³, R.

¹ Universidad Nacional Autónoma de México.

² Universitat de València.

³ Instituto Enseñanza Secundaria de Hondarribia (Guipúzcoa).

Palabras clave: Cantidad de sustancia; Mol; Historia del mol; Profesores universitarios.

OBJETIVOS

El objetivo de esta investigación consiste en ver si la enseñanza universitaria de química presenta deficiencias conceptuales y epistemológicas referentes a la enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y mol. Se supone, a título de hipótesis, que estas deficiencias están basadas en visiones deformadas de la ciencia (en particular, las visiones ahistórica y aproblemática) que tienen los profesores y que también presentan los libros de texto universitarios.

MARCO TEÓRICO

Desde finales de la década de los 70's se ha destacado en la literatura la dificultad que tienen los estudiantes para resolver problemas de estequiometría a través del uso del concepto de 'mol' (Dierks, 1981). Este concepto es esencial en el estudio de la química debido a que es básico, no sólo en la estequiometría sino también para el estudio de todo tipo de equilibrio químico y en prácticamente todas las áreas de la química como son: la termoquímica, fisicoquímica, química analítica, orgánica, inorgánica, etc. Es sabido que el mol es la unidad de la magnitud fundamental química 'cantidad de sustancia', la cual es sustituida, en su enseñanza, por el número de moles (Furió et al., 2000). Suponemos que el pasar por alto esta magnitud, puede deberse a las dificultades intrínsecas que tiene su significado, así como al desconocimiento su historia y epistemología.

Para los profesores de ciencias el conocer la historia implica, frecuentemente, la memorización de nombres y datos, con muy poco conocimiento sobre la construcción social y cultural del pensamiento científico. Sin embargo, algunos autores han marcado la importancia de lo que debe saber un profesor de ciencias el cual, además de conocer la materia a enseñar, ha de conocer los problemas que originaron la construcción de los conocimientos científicos, para poder entender cómo llegaron a articularse como cuerpos coherentes de conocimiento (Gil, 1991). Así mismo, el tener una comprensión del papel de las teorías científicas y de cómo cambian es esencial para el desarrollo y comprensión de la ciencia (Duschl, 1995). Es importante tener conocimiento de la evolución de conceptos que son básicos y que, además, son difíciles de enseñar debido a que llegan a ser muy abstractos para los estudiantes. Esto nos dará, como profesores, la capacidad de facilitar su aprendizaje. Es por estas razones que consideramos de vital importancia el entender la historia y

evolución del significado de los conceptos que aquí nos interesan: la cantidad de sustancia y el mol. Por esta razón mostraremos a continuación una visión histórica y epistemológica breve, que nos llevará a entender mejor el significado y el contexto en el que se desarrollaron estos conceptos (Furió y Padilla, 2003). El concepto de mol es bastante reciente (tiene aproximadamente 100 años) y su significado ha evolucionado desde que lo introdujo Ostwald tratando de resolver la fórmula empírica del agua oxigenada. El mol se introdujo dentro de un contexto de crisis, de confrontación teórica. Pero trataremos de dar una visión más clara retrocediendo un poco más en el tiempo. Podemos decir que el concepto de mol tiene su origen en 1900 con el desarrollo que adquirió la estequiometría como materia de estudio. La estequiometría surge en 1792 cuando el químico alemán Benjamin Richter, al igual que otros químicos de la época, quiso hacer una matematización de la química, como se había hecho con la física. Richter buscaba obtener las proporciones en masa con que se combinaban las sustancias, encontrar regularidades numéricas y poder inducir una ley que fundamentara la Química. Este programa de investigación abrió la puerta al paradigma equivalentista, que orientó hacia el desarrollo del análisis químico y rechazó la existencia de los átomos y las moléculas.

Por otra parte en 1802, Proust enuncia su ley de las proporciones definidas en la que propugna la composición constante de las sustancias no importando de dónde provengan. Esto es asumido por Dalton, quien a su vez defiende que las sustancias se combinan de forma simple átomo a átomo. Dalton, al mismo tiempo que enuncia su regla de máxima simplicidad y la ley de las proporciones múltiples, enuncia la hipótesis atómica, que da paso a la determinación de las masas atómicas. Con la existencia de dos paradigmas encontrados en el siglo XIX surge un nuevo debate sobre lo que son los compuestos y las sustancias.

Con los experimentos de Gay-Lussac y las hipótesis de Avogadro se le da un nuevo impulso a la hipótesis atómica, pero dadas las dificultades experimentales de la época y el rechazo a la existencia de moléculas formadas por átomos iguales es finalmente rechazada por la mayoría de los químicos. Sin embargo, la simplicidad de la nomenclatura atómica hace que durante todo el siglo existan dificultades de comunicación por la utilización de diversos tipos de nomenclaturas. No es sino hasta el congreso de Karlsruhe, en 1860, cuando finalmente se acepta la existencia de moléculas formadas por átomos iguales, gracias a Cannizzaro. También se hace oficial, por su sencillez, el uso de la nomenclatura atómica. Sin embargo, ambos paradigmas siguen existiendo y siguen enfrentados.

En 1900, Wilhelm Ostwald un fisicoquímico equivalentista alemán, propone el uso de un nuevo concepto, en contraposición al concepto de molécula-gramo usado por los atomistas, y que define como 'mol' que etimológicamente se define como 'masa grande'. Ostwald define al mol como "la masa molar en gramos numéricamente igual a su masa molecular relativa" y que es una definición muy cercana a lo que era peso equivalente. No obstante, los atomistas empiezan a utilizar el término mol en sustitución de términos como peso fórmula-gramo o peso átomo-gramo. Con el desarrollo de las nuevas técnicas para cuantificar átomos y moléculas surge la necesidad de tener una nueva magnitud que ayude a contar partículas a nivel macroscópico. Así es como surge la cantidad de sustancia a la cual los fisicoquímicos alemanes denominan *stoffmenge* que significa 'porción de sustancia'. La cantidad de sustancia es asumida por la comunidad científica en 1961 como magnitud fundamental para contar partículas a nivel macroscópico al tiempo que se acepta el mol como su unidad.

Nuestra hipótesis supone que el profesorado universitario de Química desconocerá la historia y epistemología de estos conceptos y, al igual que el de Bachillerato, seguirá utilizando el 'número de moles' para realizar los cálculos estequiométricos pero dándole significados erróneos de masa química y/o de número de partículas (Furió et al 2000).

DESARROLLO DEL TEMA

La metodología de investigación incluyó el análisis de aquellos aspectos relacionados con la historia y la epistemología de estos conceptos y cómo son tratados tanto en los libros de texto universitarios de química

ca como por los profesores universitarios de las facultades de química. También se analizaron las concepciones del profesorado y lo que dicen los libros de texto sobre estos conceptos. Pero estos últimos resultados se mostrarán en el congreso.

En el desarrollo experimental participaron veintitrés profesores universitarios de química, quince mexicanos y ocho españoles. En cuanto a los libros de texto se analizaron treinta libros de Química General escritos en inglés, por ser los que se utilizan en este nivel de estudios.

Con el objetivo de contrastar nuestras hipótesis desarrollamos un método experimental convergente para poder comparar los resultados encontrados en los libros de texto y con los profesores. Para estudiar las concepciones históricas y epistemológicas del profesorado referentes a la cantidad de sustancia y el mol desarrollamos una entrevista estructurada. En el estudio de los libros de texto se elaboró una red de análisis. Ambos diseños fueron elaborados con los requerimientos necesarios para contrastar nuestra hipótesis.

Las respuestas dadas por el profesorado fueron grabadas en audio y después transcritas a papel. Todos los resultados fueron analizados por dos investigadores. Así pues, para la elaboración de la entrevista estructurada se consideraron aquellos aspectos relevantes como: quién introdujo el concepto de mol, en qué contexto fue introducido, etc. Para la red de análisis los puntos fueron prácticamente los mismos: si hace algún comentario histórico que permita la introducción del concepto de mol, si hacen comentarios sobre las crisis que tuvo que vencer la teoría atómica durante todo el siglo XIX, etc.

Los resultados encontrados los presentaremos de la siguiente forma; primero presentaremos los resultados encontrados en los libros de textos mostrando las tablas de resultados y algunas de las citas textuales; después presentaremos los resultados encontrados en los profesores con algunas de las respuestas dadas por ellos.

Así pues en la Tabla 1 se muestran los resultados encontrados en el análisis de los libros de texto universitarios de química. En el ítem 1 de esta red de análisis se ve que más del 90 % de los libros de texto analizados no hacen ningún tipo de comentario histórico al introducir el concepto de mol. Tampoco hacen mención, en el transcurso del tema, de las crisis que surgieron en el siglo XIX, ni de los problemas que dieron origen a la Química Moderna. Entre los libros que abordan el aspecto histórico, uno se enfoca al número de Avogadro y el otro aborda los orígenes de la estequiometría sin entrar en detalles sobre posibles crisis.

TABLA 1
Resultados sobre las insuficiencias históricas y epistemológicas de los libros de texto(N=30)

<i>Nº</i>	<i>Pregunta</i>	<i>Porcentaje</i>
1	No se hace ningún comentario histórico que permita la introducción del concepto de mol	93
2	No presenta comentarios sobre las crisis que tuvo que vencer la teoría atómica durante el siglo XIX	97
3	No se menciona que uno de los principales problemas que dio origen a la química moderna fue la predicción de las masas de combinación de las sustancias químicas en las reacciones y/o en particular en qué proporción ponderal se combinaban los elementos que forman los compuestos	93
4	No se mencionan los dos paradigmas que estuvieron en conflicto durante el siglo XIX	100
5	No se hace alguna mención sobre Ostwald y el problema que trató de solucionar al introducir el concepto de mol	90

En el caso de los profesores los resultados obtenidos son expuestos en la Tabla 2 y muestran que las dos terceras partes del profesorado entrevistado afirman tener conocimiento de las crisis que existieron en el siglo XIX. Sin embargo, cuando se hace un análisis más detallado de sus respuestas encontramos que

ocho de los veintitrés entrevistados no mencionan el tipo de paradigma que se manejó. Tres mencionan que hubo crisis en todo el siglo y sólo un profesor hace referencia a los paradigmas existentes y enfrentados durante el siglo XIX (atomista y equivalentista).

TABLA 2
Respuestas del profesorado entrevistado sobre la historia y la epistemología del concepto de mol. (N=23)

<i>Pregunta</i>	<i>Dicen saberlo</i>	<i>Lo saben realmente</i>
1. ¿Conoces algunas de las crisis que existieron en el siglo XIX cuando surgió la teoría atómica?	17	2
2. ¿Conoce quien introdujo el concepto de mol?	18	2
3. ¿Conoce el contexto en el que se introdujo?	17	1
4. ¿Haces algún comentario histórico cuando introduces el concepto de mol?	11	

En cuanto a quien introdujo el concepto de mol, la mayoría de los profesores afirman de forma rotunda que fue Avogadro; sólo dos profesores conocen que fue Wilhelm Ostwald quien introdujo el concepto en 1900, y de estos dos sólo uno sabía que el contexto fue el equivalentista.

Estos datos nos muestran que existe un desconocimiento general del contexto histórico del concepto de mol entre los profesores universitarios de química. Es decir, los profesores tienen una visión ahistórica del concepto y esto se ve reflejado cuando lo introducen, pues aunque el cincuenta por cien de ellos afirma hacer algún comentario histórico, sólo dos de los profesores entrevistados dan una visión parcialmente correcta, aunque incompleta, de los antecedentes históricos del concepto. Esto nos lleva a que tampoco tienen una visión epistemológica correcta, dado que existe un desconocimiento general de los paradigmas que dieron origen al concepto.

En general, en el cuadro 1 se muestra cuan arraigada está entre el profesorado, la idea de que fue Avogadro (líneas 1,3 y 7) quien introdujo el concepto de mol, lo cual se puede justificar diciendo que en la definición de mol se utiliza la constante de Avogadro. En este caso sólo dos profesores tenían conocimiento de que fue Ostwald quien lo introdujo (línea 5). Estos resultados son bastante coherentes con lo que se encuentra en los libros de texto universitarios, como se vio al analizar los resultados que se presentan en la tabla 1.

CUADRO 1
Ejemplos de respuestas dadas por varios profesores a la pregunta: ¿Conoces quién introdujo el concepto de mol y el contexto en el que se introdujo?

Eusebio: ¡Avogadro! Fue Avogadro quien introdujo ese concepto.
Carlos: El trabajo alrededor de números de combinación, sobre todo, fue Cannizaro. Bueno fue Avogadro y luego Cannizaro en 1860. Lo que no sé exactamente quien manejó la palabra mol, eso no lo sé.
Javier: Fue Ostwald, fue en 1900. El contexto: un libro de inorgánica lo que él escribió, ¿no? Y habló por primera vez del peso molecular expresado en gramos, o algo así.
Iñigo: Avogadro, pero el contexto... tuvo que ver con las leyes de los gases, de la combinación de los gases. No fue fácil que se aceptaran. Las leyes refutaban algunas ideas de la división de los átomos, no fue fácil, pero el concepto de... el número de Avogadro, el mol... igual fue difícil de aceptarlo, no por la idea de creer que átomos muy diferentes pudieran estar en un mismo espacio cantidades iguales.

De los resultados encontrados en el análisis del conocimiento del profesorado y sobre lo que dicen los libros de texto, podemos darnos cuenta que los resultados son bastante similares. Es decir, ni los profesores tienen conocimientos sobre la historia y la epistemología de la cantidad de sustancia y el mol, ni los libros de texto hacen mención de alguna de estos tópicos de forma significativa. Esto induce a pensar en un desconocimiento general sobre estos temas y una de las consecuencias más significativas se ve reflejada en las confusiones sobre el significado de estos conceptos.

En cuanto a las deficiencias conceptuales, a grandes rasgos (se presentarán más detalladamente en el congreso) encontramos que los profesores llegan a confundir el concepto de mol con masa y/o número de Avogadro; desconocen el significado del concepto de cantidad de sustancia, confundiéndolo con cantidad de materia o cantidad de entidades elementales.

CONCLUSIONES

La enseñanza universitaria de los conceptos de cantidad de sustancia y mol es completamente ahistórica y aproblemática. Los profesores desconocen cuáles han sido los problemas que se tuvieron que vencer para que fuera aceptada la teoría atómica. Tampoco presentan conocimientos sobre los paradigmas que estuvieron enfrentados durante el siglo XIX ni en cuál de ellos se dio origen al concepto de mol. Lo que enseñan los pocos libros de texto que mencionan temas de historia es convergente con lo que dicen los profesores universitarios de química. Pero, en general, hay una ausencia de temas relacionados a la historia y a la evolución de los conceptos en los libros de texto.

REFERENCIAS

- DIERKS, W. (1981). Teaching the mole. *European Journal of Science Education* Vol. 3(2), 145-158.
- DUSCHL, R. A. (1995). Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 13(1), 3-14.
- FURIÓ, C., AZCONA, R. & GUIASOLA, J. (2000). Difficulties in teaching the concepts of 'amount of substance' and 'mole'. *International Journal of Science Education*, Vol. 22(12), 1285-1304.
- FURIÓ, C. & PADILLA, K. (2003). La evolución histórica de los conceptos científicos como prerrequisito para comprender su significado actual: el caso de la "cantidad de sustancia" y el "mol". *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 17, 55-74.
- GIL, D. (1991). ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 9(1), 69-77.