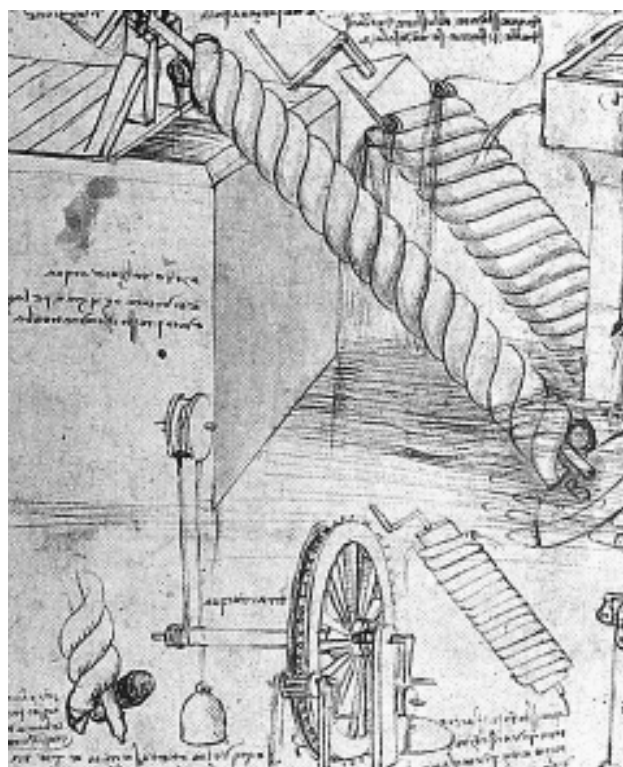


DE LAS INVESTIGACIONES EN PRECONCEPCIONES SOBRE MOL Y CANTIDAD DE SUSTANCIA, HACIA EL DISEÑO CURRICULAR EN QUÍMICA

William Manuel Mora Penagos
Diana Lineth Parga Lozano



Leonardo da Vinci,
Tornillos de Arquímedes (fragmento).

RESUMEN

DE LAS INVESTIGACIONES EN PRECONCEPCIONES SOBRE MOL Y CANTIDAD DE SUSTANCIA,
HACIA EL DISEÑO CURRICULAR EN QUÍMICA

Contextualizados en la didáctica de las ciencias y en particular en uno de los campos de mayor futuro de la didáctica de la química como lo es la línea de investigación sobre contenidos curriculares disciplinares, en este artículo se presenta un estudio del estado del arte de las investigaciones sobre preconcepciones acerca de los conceptos mol y cantidad de sustancia, mostrando que existe suficiente ilustración diagnóstica sobre los problemas de aprendizaje asociados a dichos conceptos y que es necesario dar un paso significativo hacia la formación docente que permita diseñar estrategias curriculares acordes con la situación problemática encontrada.

RÉSUMÉ

DÈS RECHERCHES SUR LES PRE CONCEPTIONS DE MOLE ET QUANTITÉ DE SUBSTANCE,
VERS LA CONCEPTION DU CURRICULUM EN CHIMIE

Dans le cadre de la didactique des sciences et en particulier au sein d'un des domaines de meilleur avenir de la didactique de la chimie, celui de la ligne de recherche sur les contenus du curriculum des disciplines, on présente dans ce texte une étude de l'état de lieux des recherches sur les pre conceptions liées au concept de mole et de quantité de substance, en montrant qu'il y a suffisamment d'illustration diagnostique sur les problèmes d'apprentissage associés à ces concepts et qu'il est nécessaire de faire un pas significatif vers la formation des enseignants qui permette de concevoir des stratégies du curriculum en concordance avec la situation problématique trouvée.

ABSTRACT

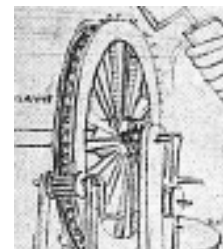
INVESTIGATIONS OF PRECONCEPTIONS OF MOL AND SUBSTANCE QUANTITY TOWARDS THE
CURRICULUM DESIGN IN CHEMISTRY

Contextualized in the didactic of sciences and in particular in one of the fields of most future of chemistry didactis, as is the line of investigation on curriculum contents of the discipline, this article presents a study on the state of the art of the investigations on preconceptions about the concepts mol and substance quantity, showing that there is enough analytical illustration on the learning problems related to such concepts and that it is necessary to take a significant step towards the formation of teachers to allow to design curricular strategies according to the problematic situation found.

PALABRAS CLAVE

*Didáctica de las ciencias, didáctica de la química, mol, cantidad de sustancia, formación de docentes, situación problemática.
Didactic of sciences, didactic of chemistry, mol, substance quantity, formation of teachers, problematic situation.*

DE LAS INVESTIGACIONES EN PRECONCEPCIONES SOBRE MOL Y CANTIDAD DE SUSTANCIA, HACIA EL DISEÑO CURRICULAR EN QUÍMICA



William Manuel Mora Penagos*
Diana Lineth Parga Lozano**

INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre las preconcepciones de los estudiantes en ciencias ha sido tal vez la línea de investigación pionera en el campo de la didáctica de las ciencias naturales en la década del setenta del siglo XX. Sin embargo, el estudio de las preconcepciones en química y particularmente de los conceptos *cantidad de sustancia* y *mol* es más tardío y podríamos localizarla entre las décadas del ochenta y del noventa del siglo XX.

En general, podemos decir que los problemas del aprendizaje y la enseñanza de los conceptos básicos de la química han sido formados en el campo disciplinar de la *didáctica de las ciencias*, a la que se le reconoce como una disciplina teóricamente fundamentada (Porlán, 1998; Gil, Carrascosa y Martínez-Terrades, 1999) de carácter tecno-científico, dedicada al diseño de los procesos de enseñanza-aprendizaje de los diversos contenidos curriculares (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2002), en pro de mejorarlos; con autonomía propia, y consoli-

dada por las producciones en el ámbito de las investigaciones doctorales. Estas investigaciones son publicadas en revistas especializadas indexadas como también en *handbooks*, investigaciones que comienzan a proponer discursos de aceptación incluso por otras disciplinas en marcos conceptuales que podrían denominarse *modelos didácticos* (Gallego, 2004; Gallego A. y Gallego R., 2005).

Los estudios didácticos sobre las preconcepciones en química han estado respaldados conceptualmente por metadiscursos provenientes de la historia, la epistemología y la psicología; esto se evidencia en muchas de las publicaciones en revistas prestigiosas como *Enseñanza de las Ciencias*, *Alambique*, *Educación Química*, *Tecne*, *Episteme y Didaxis (TED)*, *Revista Educación y Pedagogía*, *Journal of Chemical Education*, *Chemistry Education Research and Practice*, *Chemistry Education: Research and Practice in Europe (CERAPIE)*, *Chemical Education Research, Science & Education*, entre otras. Tal reflexión metadiscursiva no sólo ha

* Magíster en Docencia de la Química. Candidato a Doctor en Educación Ambiental. Docente de carrera, Universidad Distrital "Francisco José de Caldas" (Bogotá). Grupo de Investigación en Didáctica de la Química (DIDAQUIM).
E-mail: wmora@udistrital.edu.co.

** Magíster en Docencia de la Química. Docente de planta del Departamento de Química, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
E-mail: dparga@pedagogica.edu.co.

permitido entender cómo se han construido socialmente los conocimientos químicos como referente para afrontar los problemas de aprendizaje de los estudiantes, sino también ha abierto el camino para investigar sobre los procesos de enseñanza y sus contenidos, sus diseños, y sobre la formación permanente del profesorado. Ello, a su vez, ha conducido a hablar de la *formación en didáctica de las ciencias* como un proceso de enseñanza y aprendizaje permanente, sustentado en la relación entre la teoría y la práctica del ejercicio docente (Porlán *et al.*, 2001). En éste, la *integración de conocimientos* que tienen que ver principalmente con la reflexión metadisciplinar es fundamental, en particular para entender los procesos de las ciencias (el origen, los contextos de desarrollo, los métodos, los instrumentos, las formas de organización de las comunidades científicas, incluso en sus acepciones culturales).

Todo lo anterior lleva a plantear que el desconocimiento de la historia y la epistemología de la química, o su infravaloración por parte del profesorado, incide en forma negativa en la comprensión de los conceptos y los modelos científicos que se tienen que enseñar. En este sentido, Furió (2005) afirma que conocer los modelos en su momento histórico permite establecer relaciones entre ellos, y comprender cuándo y cómo se idearon, y cómo han cambiado, los conceptos básicos, como el de *cantidad de sustancia*, introducido en la segunda mitad del siglo XX, y cómo ha ido cambiando éste al cambiar el modelo científico usado en la química en ese periodo histórico. El conocimiento de los modelos históricos y sus contextos filosóficos posibilitará al profesor, en formación y en activo, comprender muchas de las dificultades de aprendizaje, evitará sobre todo la transmisión de confusiones conceptuales y epistemológicas en la enseñanza, y en particular salir del paso de visiones deformadas respecto a la naturaleza de la ciencia y de la actividad científica (Furió, 2005; Orozco, 2005; Quintanilla, 2005). Por ello, hay que plantearse qué competencias profes-

sionales sobre el conocimiento de la materia (la química) hay que enseñar y en especial en lo relacionado con la historia y la filosofía, y cómo son valorados (importancia dada al momento de diseñar y poner en práctica los currículos y las unidades didácticas) por los profesores en formación y los mismos profesores universitarios que intervienen en los procesos de formación docente.

Un profesor en formación debe ser preparado para saber la materia a enseñar y los problemas que originaron la construcción de los conocimientos científicos, para entender cómo han llegado a articularse como cuerpos de conocimiento. También debe tener una comprensión del papel de las teorías científicas y de cómo cambian. En este sentido, vale la pena preguntarse si el profesor en formación sabe cuál fue el contexto en el que se dio el origen de los conceptos *mol* y *cantidad de sustancia*, cómo han evolucionado, si comprende sus significados actuales, para qué se usan y cuáles son las problemáticas (científicas y didácticas) que en relación con estos conceptos se están dando.

En el campo de las investigaciones sobre educación en química y en didáctica de la química, los trabajos que incorporan las reflexiones epistemológicas e históricas de la química no son tan numerosos, a pesar de los ya reconocidos de los profesores Furió e Izquierdo en España; de Chamizo y Garritz en México; R. Gallego, R. Pérez, Zambrano, Mora, García y Mosquera, en Colombia. Incluso en el contexto angloamericano, los desarrollos no son muchos. Como lo señala Sibel Erduran:

Within the last two decades, the overlap of chemistry education research with revived efforts in the application of history and philosophy of science (HPS) in science education has been minimal. Brush (1978) has argued that the anti-historical nature of chemistry education is a reflection of chemists' marginal interest in the historical dimensions of their science. Such a claim,

however, confuses the status of chemistry education research with the status of the historical and philosophical dimensions of chemistry itself (2001: 581).

Pérez *et al.* (2004: 50), desde revisiones fundamentadas en la historia y la epistemología, han planteado, por ejemplo, que la química es una construcción social científica que maneja metodologías hipotético-deductivas, donde sus practicantes —como químicos— se ocupan de la materialidad y las interacciones de las sustancias entre sí y con la energía, desde un concepto central que es el de *molecularidad*, lo que implicaría que sean las teorías del enlace químico los fundamentos de esta ciencia y no tanto las correspondientes a las teorías atómicas, como se cree por parte de estudiantes y profesores.

Por su parte, Mora, García y Mosquera (2002: 273), basados en estudios realizados en epistemología e historia con criterios sociales, han intentado proponer caminos de explicación de los principales cambios en química, entendidos como procesos de rivalidad entre teorías competitivas. Así, han planteado como concepto fundamental de la química el *cambio químico* en el que sus antecedentes históricos *afinidad y reacción química / enlace químico* se localizan en períodos que permiten comprender la evolución conceptual de esta disciplina. Para entender los conceptos fundamentales de la química asociados al *cambio químico* se ubican en los siguientes períodos histórico-epistemológicos: Antigüedad (atomismo vs elementismo), Edad Media (alquimia vs iatroquímica), siglos XVII al XVIII (flogisto vs oxígeno), siglo XIX (teoría atómico-molecular vs equivalentismo; unitarismo vs dualismo; teoría de los tipos vs teoría estructural), y finalmente en el siglo XIX (las teorías precuánticas vs las teorías cuánticas). La rivalidad y tipo de cambio los analizan haciendo énfasis en la estructura teórica de quienes rivalizan, su ontología, su campo de aplicación, sus principios metodológicos y sus instrumentos y técnicas. Ellos proponen estos criterios

para la formación de docentes en torno al diseño de unidades didácticas centradas en temas conceptuales evolutivas.

En este documento mostraremos el caso de los conceptos *mol* y *cantidad de sustancia*, como ejemplo de las disputas entre el atomismo y el equivalentismo, y sus implicaciones en el aprendizaje y la enseñanza de la química, desde la línea ya esquematizada por Mora, García y Mosquera (2002) y Parga (2005).

ORIGEN DEL CONCEPTO MOL

Jensen (2004) dice que el término “mol” se usó por los romanos para denotar las piedras pesadas que se usaban en la construcción de los rompeolas de los puertos, como también para identificar las muelas de molino; pero en el terreno de la química, el término se introdujo primero alrededor de 1865, por el químico alemán August Wilhelm Hofmann (1818-1892), para indicar cualquier masa macroscópica grande, en contraste con la masa “molecular” submicroscópica. Sin embargo, el término “mol”, para significar no sólo cualquier muestra macroscópica, sino su relación con la medida de las masas en las reacciones químicas, se atribuye al químico-físico alemán Wilhelm Ostwald (1853-1932), quien lo presenta, en algunos de sus libros de texto escritos a comienzos del siglo XX, como “la masa en gramos de una sustancia numéricamente igual a su peso normal o peso molecular” (Azcona, 1997).

Ostwald plantea sus ideas en un claro escepticismo o incredulidad con respecto a la hipótesis atómica, como hacia la molecular, tal como se observa en las siguientes citas, tomadas de su libro *Grundlinien der Anorganischen Chemi*:

En la medida en que hasta ahora han sido tratadas las relaciones de los procesos químicos, parece como si las sustancias estuvieran compuestas, en el sentido expuesto, de átomos. De ello resulta, en el mejor de los casos, la posibilidad de que lo estén

realmente, pero no la seguridad. Pues no se puede demostrar que las leyes de la unión química no puedan inferirse en su totalidad a partir de un supuesto completamente diferente (citado en Mora, Parga y Torres, 2004: 313).

La misma hipótesis *molecular* fue establecida casi al mismo tiempo en 1811 por Avogadro y en 1812 por Ampere. A la suposición de que en un mismo volumen de gas estén contenidas otras tantas moléculas, se le suele denominar la *ley de Avogadro*. Esto es engañoso, pues una hipótesis no puede ser nunca una ley. Se le puede llamar el *postulado de Avogadro*. La ley que sirve de base a estas consideraciones es la de las relaciones de volumen en las reacciones entre gases, descubierta por Gay-Lussac (313).

Irónicamente, el uso que Ostwald dio al término “mol” se conectó con sus ataques en contra de la teoría atómico-molecular y su esfuerzo por establecer una alternativa macroscópica para las leyes de estequiometría desde la teoría equivalentista. Así, opuso el término *mol* (masa grande) al de *molécula* (masa pequeña), peso normal al de peso molecular y, en general, las ideas de Richter y los equivalentistas a las atómico-moleculares de Dalton y Avogadro.

Ostwald también introduce, en sus textos, el término “cantidad de sustancia”, pero siempre referido a masas o relación de masas (Azcona, 1997). En cambio, la introducción de la nueva magnitud *cantidad de sustancia* fue más tardía, en 1961. Consolidado el paradigma atomista, en 1971 se entendía como la “cantidad de sustancia” que contiene el mismo número de entidades elementales (átomos, iones o moléculas) como átomos hay en 12 gramos del isótopo del carbono 12 (^{12}C) (Bievre y Peiser, 1992). Así, pues, esta nueva magnitud, paradójicamente, fue precedida por la invención del concepto *mol*, que hoy consideramos su unidad.

Es importante tener en cuenta que el *mol* había sido ideado antes que la *cantidad de sustancia* en el marco conceptual equivalentista y, por tanto, con un significado totalmente distinto al actual (Furió y Padilla, 2003). El concepto *cantidad de sustancia* sigue siendo objeto de controversias y el mayor inconveniente se da a nivel lingüístico, porque la principal acepción del término “cantidad” tiene significado de “número concreto” de unidades, y este atributo se opone a una representación abstracta de la magnitud que se quiere definir. Por ejemplo, es mucho más adecuado el término “longitud” para nombrar la magnitud que mide distancias que el término “cantidad”. En la discusión sobre la necesidad de introducir esta magnitud, se propugnaba por prescindir de ella y trabajar con cantidades moleculares y no con cantidades molares.

En la actualidad —luego de la aceptación definitiva de la comunidad científica, a comienzos del siglo XX, de la existencia física de los átomos y las moléculas—, las magnitudes *cantidad de sustancia* y *cantidad química* fueron aceptadas como sinónimos. Ello surgió de la necesidad de comparar cantidades de partículas en las sustancias que intervienen en una reacción, evitando la incomodidad de contarlas microscópicamente. Es decir, el atributo principal de esta magnitud macroscópica es que permite contabilizar fácilmente el número de entidades elementales, en cualquier porción de sustancia, a través de otras magnitudes más asequibles como la masa o el volumen (Azcona, 1997). Así, la magnitud *cantidad de sustancia* permite establecer una relación significativa entre el mundo macroscópico y el microscópico en el contexto de los cambios sustanciales que se producen en las reacciones químicas, es decir, en el contexto de la estequiometría de los cambios químicos. En este sentido, Furió, Azcona y Guisasaola (1999) dicen que actualmente la cantidad de sustancia es una magnitud macroscópica que sirve para contar entidades elementales.

ANTECEDENTES DE INVESTIGACIONES DIDÁCTICAS DE LOS CONCEPTOS *MOL* Y *CANTIDAD DE SUSTANCIA*

Padilla, Furió y Azcona (2005) plantean que el concepto *mol* es esencial en el estudio de la química, no sólo en la estequiometría, sino también para el estudio de todo tipo de equilibrio químico. Ellos han encontrado que, desde finales de la década del setenta, se ha destacado en la literatura la dificultad que tienen los estudiantes para resolver problemas de estequiometría en las distintas especialidades de la química.

Furió y Padilla (2003) sostienen que es frecuente encontrar que la enseñanza del mol se hace de manera operativa, sin que los estudiantes se enteren que la I International Union of Pure and Applied Chemistry (UPAC) definió el *mol* como la unidad de la magnitud fundamental química *cantidad de sustancia*. Esta magnitud es sustituida, en su enseñanza, por el número de moles. Estos investigadores suponen que pasar por alto la magnitud puede deberse a las dificultades intrínsecas que tiene su significado, así como al desconocimiento de su historia y su epistemología. Introducir de forma operativista el concepto *mol*, sin ninguna aproximación a las ideas cualitativas que le subyacen, desprovee de significado químico a esta unidad, resultando difícilmente comprensible para el estudiantado (Furió, Azcona y Guisasola, 1999).

Los problemas de aprendizaje que entraña el concepto *mol* y su relación con el de *cantidad de sustancia* también se deben a las inadecuadas estrategias de enseñanza que desconocen el origen y la evolución de estos conceptos:

Debido a que el mol es un concepto inventado por los científicos como ayuda en los cálculos de química, las concepciones de

los estudiantes, al respecto, difícilmente podrían ser consideradas como concepciones intuitivas. Surgen a causa de la instrucción insuficiente o de estrategias de enseñanza inadecuadas. En este sentido, si en la enseñanza resulta confuso el concepto y además se hacen transposiciones erróneas del significado de la magnitud “cantidad de sustancia”, es muy plausible que existan incomprensiones y errores conceptuales en el aprendizaje (Gabel y Bunce, 1994, citados por Furió, Azcona y Guisasola, 1999: 360).

Furió, Azcona y Guisasola (1999) encontraron que la mitad del profesorado investigado (tanto profesores de bachillerato como de primeros cursos de universidad), no asocia cualitativamente la magnitud *cantidad de sustancia* con número de partículas, lo cual es síntoma de la existencia de problemas en su significado; tampoco introduce en sus clases este concepto, ni hace alusión a su historia; además, incorpora el concepto *mol* en una transposición didáctica centrada en el marco del equivalencismo. Estos investigadores hallaron también que una minoría de los libros de texto usados en la enseñanza de la química aborda el tema de *cantidad de sustancias*. Las ideas y las prácticas de los docentes, como los textos que usan, se centran la mayoría de las veces en lo microscópico (atómico-molecular), olvidando las relaciones con el nivel macroscópico de representación de la materia.

Como producto de una revisión bibliográfica exhaustiva hasta el 2002, Furió, Azcona y Guisasola (2002: 287) afirman que el problema didáctico asociado a los conceptos *mol* y *cantidad de sustancia* ha sido tratado por la comunidad de investigadores en las siguientes áreas: las percepciones de los estudiantes y sus dificultades de aprendizaje; las percepciones de los profesores (pensamiento sobre los conceptos); el punto de vista histórico y filosófico sobre el origen y la evolución de los concep-

tos (controversias sobre la terminología de la cantidad de sustancia, el significado de mol y otros conceptos relacionados), y las nuevas perspectivas didácticas planteadas a la luz de la psicología del aprendizaje (estrategias de enseñanza de los conceptos, centradas en los prerrequisitos necesarios para el aprendizaje de éstos).

Estos autores concluyen que:

La revisión bibliográfica realizada pone de manifiesto una clara discrepancia entre lo asumido por la comunidad científica (Mills *et al.*, 1993) y el pensamiento del profesorado, reflejado en la información contenida en los libros de texto, respecto al significado y al papel relevante de la magnitud "cantidad de sustancia" y del mol.

Así mismo, la revisión realizada resalta que las concepciones actuales respecto a la magnitud "cantidad de sustancia" y su unidad, el mol, son el resultado de un largo proceso de investigación en torno al problema de la determi-

nación de cantidades en las reacciones químicas dentro de un marco teórico atomista. En este sentido se distingue entre el contexto original de indagación de Ostwald y el contexto actual, recomendándose diferenciar claramente entre cantidad de sustancia, masa, volumen y número de entidades elementales.

De acuerdo con la recopilación de dificultades de aprendizaje realizada, podemos apuntar que el verdadero problema en torno a la "cantidad de sustancia" es que se trata de una magnitud macroscópica que se relaciona directamente con el mundo microscópico de las sustancias (átomos y moléculas) y, para relacionar estos dos niveles de representación, hay que interiorizarlos previamente; esto es, hay que relacionar las definiciones macroscópicas de sustancia y reacción química con el nivel microscópico atomista.

En la tabla 1 se presenta una síntesis de lo encontrado en los antecedentes, siguiendo algunas de las categorías clasificatorias propuestas por Brousseau y Vázquez-Abad (2003).

Tabla 1. Hallazgos de investigación en didáctica de los conceptos *mol* y *cantidad de sustancia*.

<i>Categoría clasificatoria</i>	<i>Principales conclusiones encontradas en los antecedentes</i>
Formulación del problema	<ul style="list-style-type: none"> - La confusión de estudiantes y maestros respecto del mol y masa, número de partículas, número de Avogadro (NA), volumen, masa molar, propiedades de la materia. - Los problemas para entender la relación entre la cantidad de sustancia (la magnitud) y mol (su unidad). - La confusión de los libros de texto sobre el mol, la masa, el número de partículas, el NA. - El concepto de cantidad de sustancia no es introducido en la gran mayoría de los programas de enseñanza habitual de la química. - No hay comentarios históricos de la evolución del concepto. - Analogías a menudo mal escogidas. - La introducción rápida de otros conceptos relacionados. - Casi ninguna referencia de la magnitud cantidad de sustancia. - Ninguna relación entre la cantidad de sustancia (la magnitud) y mol (la unidad).

Tabla 1. (Continuación)

<i>Categoría clasificatoria</i>	<i>Principales conclusiones encontradas en los antecedentes</i>
Dificultad de concepto	<ul style="list-style-type: none"> - El nivel de abstracción del concepto vs el nivel de desarrollo cognoscitivo de los estudiantes. - Los estudiantes confunden frecuentemente el nivel macroscópico de representación (masa molar) con el microscópico (masa atómica y masa molecular). - El concepto teórico o formal operacional requiere la fase operacional formal, nivel cognoscitivo no logrado por una proporción grande de estudiantes; dificultades de éstos para representar tan grandes números y partículas pequeñas. - El tratamiento de información. - La gran exigencia cognoscitiva de un problema o demanda-M, que supera la capacidad de los estudiantes.
La etimología	<ul style="list-style-type: none"> - El nuevo vocabulario. - Fonéticas similares: molécula, mol, volumen molar, masa molar, masa molecular, molar, masa atómica molar, masa atómica, átomo, etc.
Enseñanza	<ul style="list-style-type: none"> - Entendimiento inadecuado e insuficiente del concepto por parte del profesorado. - Definiciones incorrectas de los términos. - Formación didáctica deficiente del profesorado. - Inconsistencias entre el libro de texto, el acercamiento "instruccional" y la estrategia del maestro. - Inconsistencias entre maestro, libro de texto y definición científica - Inadecuadas estrategias de instrucción. - Ninguna perspectiva histórica. - Ninguna discusión de su utilidad. - Ningún acercamiento cualitativo. - Elementos abstractos definidos como una entidad concreta. - Ninguna distinción ni relación entre la cantidad de sustancia y mol. - Contenidos curriculares inadecuados. - Secuencias de aprendizaje inadecuadas. - Muchas nociones vistas frecuentemente que deben relacionarse (volumen, masa, número de moles, número de partículas, molaridad, NA, volumen molar). - Demanda inmediata de aplicación. - Falta de práctica para la resolución de problemas. - Falta de tiempo. - Requisitos previos (químicos / matemáticos) no adquiridos.
Sugerencias para la enseñanza	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluar el entendiendo de requisitos previos (químicos / matemáticos) no adquiridos. - Desarrollar una comprensión conceptual, cualitativa, antes que cuantitativa. - Explicitar la utilidad, uniéndose el mol al problema que se quiere resolver. - Conceptualizar qué se entiende por cantidad de sustancia y mol, y establecer las condiciones usadas antes de relacionarlos, usando un acercamiento histórico. - Trabajar en la zona de desarrollo próximo y disminuir la demanda-M de los problemas.

Tabla 1. (Continuación)

Categoría clasificatoria	Principales conclusiones encontradas en los antecedentes
	<ul style="list-style-type: none"> - Organizar las tareas y preguntas involucradas en una jerarquía. - Enseñar a los estudiantes todas las relaciones matemáticas involucradas, así como usar diagramas para los factores de conversión de unidades. - Resolver problemas y ejercicios de aplicación usando proyectos para el laboratorio, y las analogías en grupo. - Tener en cuenta: las cantidades y unidades involucradas, las relaciones de proporcionalidad, las relaciones entre masa atómica vs masa relativa vs masa, las leyes de combinación químicas, las fórmulas químicas, el nivel microscópico vs el nivel macroscópico, y la naturaleza discontinua y corpuscular de la materia.

EL DISEÑO CURRICULAR EN TRAMAS CONCEPTUALES Y LA FORMACIÓN DOCENTE

Como se ve en el apartado anterior, no aparecen relacionadas experiencias concretas de diseño curricular (con fundamentos histórico-epistemológicos) de los conceptos *mol* y *cantidad de sustancia*, con la formación del profesorado.

Producto de resultados investigativos anteriores, se ha mostrado que formar docentes desvinculados de sus prácticas reales y del objeto de su profesión —que es el diseño curricular—, por lo general culmina en resultados desalentadores, por lo que aquí partiremos del siguiente principio: *el diseño curricular y la formación docente están articulados en todo momento en el mejoramiento del desempeño profesional docente.*

En trabajos anteriores (Mora, 1999; Mora, García y Mosquera, 2002, y Parga, 2005) y sustentados en las investigaciones de Martín del Pozo (1994) y García Díaz (1998), hemos argumentado que el diseño curricular se puede operacionalizar en torno al concepto *trama conceptual evolutiva*, para el diseño de secuencias de estrategias didácticas. Este concepto lo hemos desarrollado investigativamente en dos procesos, articulados en *tramas histórico-*

epistemológicas y en *tramas didácticas* (Carvajal et al., 2002; Torres y Mora, 2004). Las tramas histórico-epistemológicas nos permiten ver la evolución de un sistema de conceptos y teorías en disputa, especificando el tipo de cambios ocurridos en la ciencia y ofreciendo descripciones de momentos históricos que son particularmente ilustrativos de concepciones y obstáculos epistemológicos que inciden en la enseñanza escolar; las *tramas didácticas*, fundamentadas en las tramas anteriores, permiten establecer contenidos aptos para la enseñanza a nivel conceptual, procedimental y actitudinal. Estas tramas pueden ser consideradas como *hipótesis de progresión* (Porlán y Rivero, 1998; Porlán et al., 2001) relativas a los mecanismos y al contexto aproximado de la enseñanza-aprendizaje, que permitan plantear estados sucesivos de posibles estadios de evolución, que van de la simplicidad a la complejidad, en este caso del concepto *mol* y de sus distintas relaciones con otros conceptos, como el de *cantidad de sustancia*, *masa*, *volumen*, *peso molecular*, etc., en los distintos marcos teóricos, como han sido el equivalentismo y la teoría atómico-molecular.

Consideramos de gran utilidad, a la hora de emprender este estudio aplicado a los conceptos *mol* y *cantidad de sustancia*, la perspectiva de las *tramas conceptuales*, como la planteada por Martín del Pozo (1994). Esta autora aplica tres niveles de trama conceptual cada vez más complejas: el *nivel macroscópico*, el *nivel*

asociado a la teoría atómico-molecular, y el nivel asociado a la teoría cuántica. Estos tres niveles de complejidad concuerdan con lo propuesto por Jensen (1998), con las tres revoluciones de la química: composición molar, composición molecular / estructura, y composición eléctrica / estructura, en otras palabras: los tres niveles serían: molar, molecular y eléctrico.

Las tramas histórico-epistemológicas y las tramas didácticas permiten luego el diseño de unidades didácticas para la intervención en el aula de clase, es decir, permiten el diseño de estrategias de innovación e investigación didáctica de los contenidos de enseñanza. Las unidades didácticas, como unidades de enseñanza y programación, permitirán organizar programas escolares, integrando diversos contenidos no sólo en un período corto de tiempo, sino que también forman estructuras de largos períodos escolares.

Pasos investigativos en esta línea son ya un compromiso, y hemos iniciado una primera aproximación (Mora, García, Mosquera, 2002; Parga, 2005), con la cual nos comprometemos a ofrecer resultados más adelante.

CONCLUSIÓN

Es necesario investigar sobre el desarrollo curricular como actividad integrada a la formación docente, en la que se aprovechen los resultados de investigación sobre preconcepciones y se proceda a establecer tramas histórico-epistemológicas articuladas a tramas didácticas, para, de esta manera, diseñar y poner en práctica investigativa unidades didácticas en torno a los conceptos *mol* y *cantidad de sustancia*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZCONA, R., 1997, *Análisis crítico de la enseñanza-aprendizaje de los conceptos de "cantidad de sustancia" y de mol. Una alternativa didáctica*

basada en el aprendizaje por investigación, Tesis Doctoral, Universidad del País Vasco, San Sebastián, España.

BIEVRE, P. de, y PEISER, H. S., 1992, "'Atomic Weight' -The Name, its History, Definition, and Units", *Pure&Appl. Chem.*, vol. 64, núm. 10, pp. 1535-1543.

BROUSSEAU, N. y VÁZQUEZ-ABAD, J., 2003, *High-school students' problems learning the concept of mole: A study to eventually get it right?* Montreal, Université de Montréal y Collège Mont-San-Louis.

CARVAJAL, A. L.; HILARION, V. D.; LARGO, S. G. y MORA, P. W., 2002, *Estudio didáctico del desarrollo histórico epistemológico del concepto de cambio químico en la química orgánica del siglo XIX*, Trabajo de grado de Licenciatura en Química, Bogotá, Universidad Distrital.

ERDURAN, S., 2001, "Philosophy of Chemistry: An Emerging Field with Implications for Chemistry Education", *Science & Education*, núm. 10, pp. 581-593.

FURIÓ, C., 2005, "¿Es la historia y la filosofía de la ciencia una herramienta básica en la formación del profesorado de química?", *Enseñanza de las ciencias*, núm. extra, VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, Granada, España, pp. 1-2.

FURIÓ, C.; AZCONA, R. y GUIASOLA, J., 1999, "Dificultades conceptuales y epistemológicas del profesorado en la enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y de mol", *Enseñanza de las ciencias*, vol. 17, núm. 3, pp. 359-376.

_____, 2002, "The Learning and Teaching of the Concepts 'Amount of Substance' and 'Mole': a Review of the Literature", *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, núm. 3, pp. 277-292.

FURIÓ, C. y PADILLA, K., 2003, "La evolución histórica de los conceptos científicos co-

mo prerrequisito para comprender su significado actual: el caso de la 'cantidad de sustancia' y el 'mol', *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, núm. 17, pp. 55-74.

GALLEGO, R., 2004, "Un concepto epistemológico de modelo para la didáctica de las ciencias experimentales", *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, vol. 3, núm. 3.

GALLEGO, A. y GALLEGO, R., 2005, "El estatuto científico de la nueva didáctica de las ciencias", *Tecne, Episteme y Didaxis (TED)*, Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional, núm. extra. 2.º Congreso sobre Formación de Profesores de Ciencias, Bogotá, pp. 223-224.

GARCÍA DÍAZ, E., 1998, *Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares*, Sevilla, Díada Editora.

GIL, D.; CARRASCOSA, L. y MARTÍNEZ-TERRADES, F., 1999, "El surgimiento de la didáctica de las ciencias como campo específico de conocimientos", *Revista Educación y Pedagogía*, Medellín, Universidad de Antioquia, Facultad de Educación, vol. XI, núm. 25, pp. 13-66.

IZQUIERDO, A. M. y ADÚRIZ-BRAVO, A., 2002, "Relación de la didáctica de las ciencias naturales con otras disciplinas científicas", en: ADÚRIZ-BRAVO, A.; PERAFÁN, E. G. y BADILLO, E., *Actualizaciones en didáctica de las ciencias naturales y las matemáticas*, Bogotá, Magisterio.

JENSEN, W. B., 1998, "III. One Chemical Revolution or Three?", *Journal of Chemical Education*, vol. 75, núm. 8, ago., pp. 961-969.

_____, 2004, "The Origin of the Mole Concept", *Journal of Chemical Education*, vol. 81, núm. 10, oct.

MARTÍN DEL POZO, R., 1994, *El conocimiento del cambio químico en la formación inicial del profesorado. Estudio de los conceptos disciplinares y didácticas de los estudiantes del magisterio*, Te-

sis doctoral inédita, Universidad de Sevilla, España.

MORA, W., 1999, "Elementos para la renovación curricular de los proyectos de formación inicial del profesorado de química: una propuesta desde la pedagogía y la didáctica como disciplinas fundantes", *Revista Educación y Pedagogía*, Medellín, Universidad de Antioquia, Facultad de Educación, vol. XI, núm. 25, pp. 120-145.

MORA, W.; GARCÍA, A. y MOSQUERA, C., 2002, "Bases para la construcción de un cuerpo conceptual didáctico del desarrollo histórico epistemológico de los conceptos estructurantes de la química", *Revista Científica*, Bogotá, Centro de Investigaciones y Desarrollo científico, Universidad Distrital, núm. 4, pp. 259-286.

MORA, W.; PARGA, D. y TORRES, W., 2004, *Molécula I, Química*, Bogotá, Voluntad, pp. 312-317.

OROZCO, J. C., 2005, "Atajos y desviaciones. Los estudios histórico-críticos y la enseñanza de las ciencias", *Tecne, Episteme y Didaxis (TED)*, Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional, núm. extra, 2.º Congreso sobre Formación de Profesores de Ciencias, Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional, pp. 70-79.

PADILLA, K.; FURIÓ, C. y AZCONA, R., 2005, "Las visiones deformadas de la ciencia en la enseñanza universitaria de los conceptos de cantidad de sustancia y mol", *Enseñanza de las ciencias*, núm. extra, VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, Granada, España.

PARGA, L. D., 2005, *Una experiencia en la formación inicial del profesorado de química en relación con los conceptos de mol y cantidad de sustancia*, Proyecto de Docencia e Investigación. Concurso docente, documento no publicado, Bogotá, UPN, Departamento de Química.

PÉREZ, R.; GALLEGO, R.; TORRES, L. y CUÉLLAR L., 2004, *Las competencias interpretar, argumentar y proponer en química. Un problema pedagógico y didáctico*, Bogotá, UPN.

PORLÁN A., R., 1998, "Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias", *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 16, núm. 1, pp. 175-185.

PORLÁN, R. y RIVERO, A., 1998, *El conocimiento de los profesores. Una propuesta formativa en el área de ciencias*, Sevilla, Díada Editora.

PORLÁN, R.; MARTÍN DEL POZO, R.; MARTÍN, J. y RIVERO, A., 2001, *La relación teoría-práctica en la formación permanente del profesorado*, Sevilla, Diada Editora.

QUINTANILLA, G. M., 2005, "Historia de las ciencias y formación del profesorado: una necesidad irreductible", *Tecne, Episteme y Didaxis (TED)*, Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional, núm. extra, 2.º Congreso sobre Formación de Profesores de Ciencias, Bogotá, UPN, pp. 34-43.

TORRES, L. y MORA, P. W., 2004, "De las tramas históricas a las tramas didácticas: una propuesta para el diseño de unidades didácticas en química orgánica", Trabajo de grado de Licenciatura en Química, Bogotá, Universidad Distrital.

ZAMBRANO C., A. C., 1999, "Teaching, History and Epistemology of the Concept of Mole. In: Volta and The History Of Electricity, Science As Culture, Pavia-Como (Italy)", *European Physical Society*, vol. 1, pp. 1-34.

REFERENCIA

MORA PENAGOS, William Manuel y PARGA LOZANO, Diana Lineth, "De las investigaciones en preconcepciones sobre mol y cantidad de sustancia, hacia el diseño curricular en química", *Revista Educación y Pedagogía*, Medellín, Universidad de Antioquia, Facultad de Educación, vol. XVII, núm. 43, (septiembre-diciembre), 2005, pp. 165-175.

Original recibido: septiembre 2005

Aceptado: noviembre 2005

Se autoriza la reproducción del artículo citando la fuente y los créditos de los autores.

