

Resumen

Desde los resultados obtenidos en investigaciones didácticas en torno al proceso de la construcción de modelos científicos en el aula, en el presente artículo se examinan algunas consecuencias de este proceso en lo referente a las interacciones que suscitaría la didáctica de la modelación, dado el cambio que introduce la modelación como una intencionalidad emergente en la educación científica. En cuanto a la construcción de modelos en el aula, se precisa que el correspondiente trabajo didáctico se centra en los consensuados por la respectiva comunidad de especialistas.

Palabras clave: historia, epistemología, didáctica de las ciencias, modelación, interacciones

¿Qué versión de ciencia se enseña en el aula?

Sobre los modelos científicos y la didáctica de la modelación

Adriana Patricia Gallego Torres

Doctora en ciencias físicas, Universidad de Valencia, Profesora de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D. C., Colombia. Adriana.p.gallego@uves

Rómulo Gallego Badillo

Magíster en docencia universitaria, Universidad Pedagógica Nacional, Profesor de la Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, D. C., Colombia. Grupo de Investigación Representaciones y Conceptos Científicos (Grupo IREC). Rgallego@unipedagogica.edu.co

Royman Pérez Miranda

Magíster en docencia universitaria, Universidad Pedagógica Nacional, Profesor de la Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, D. C., Colombia. Grupo de Investigación Representaciones y Conceptos Científicos (Grupo IREC). Rperez@unipedagogica.edu.co

Abstract

Based on the results obtained in didactic research on the process of scientific model constructions in the classroom, this paper examines the consequences of this process regarding the interactions that the didactics of modelling would generate, given the change introduced by modelling as an emerging intentionality in scientific education. Regarding the construction of models in the classroom, it is specified that the corresponding didactic work is focused on the ones agreed upon by the respective community of specialists.

Key words: History, epistemology, didactics of science, modelling, interactions

Introducción

A partir de la segunda década del siglo XX, personajes procedentes de las ciencias, adoptaron las nuevas propuestas epistemológicas y decidieron ocuparse, en principio, de la enseñanza de las mismas en los niveles de la educación básica y secundaria y, correlativamente, de replantear las concepciones acerca, de la didáctica de dichas ciencias. De conformidad con los trabajos de los sociólogos del conocimiento, en los que se demuestra y afirma que las ciencias de la naturaleza son fruto de una construcción comunitaria (Hodson, 1985), desarrollaron la posición deductivista-constructivista.

Se creó una comunidad de especialistas en didáctica de las ciencias. En este desenvolvimiento, surgieron y se acreditaron las revistas especializadas, que empezaron poco a poco a exigir rigor científico en los artículos (Moreira, 1994) y un lenguaje conceptual y metodológico consensuado (Solano, Jiménez-Gómez, y Marín, 2000). D. Hodson (1992), relacionando críticamente las investigaciones que en su momento se habían llevado a cabo, concluyó que existían argumentos para afirmar que la didáctica de las ciencias había nacido ya como una disciplina científica. Desde una revisión análoga de un número considerable de artículos de revistas especializadas, se sostuvo que la comunidad había delimitado sus problemas de investigación (Gil Pérez, Carrascosa Alís y Martínez-Terrades, 1999).

Los especialistas en didáctica de las ciencias dejaron atrás la concepción habitual, que buscaba el solo diseño de procesos instrumentales para mejorar la enseñanza, ello significó una ruptura epistemológica, en términos de la categoría propuesta por G. Bachelard (1982). Es así, por cuanto esos campos se ocuparon de la formación inicial y continua de profesores, la confiabilidad de los textos de enseñanza, las concepciones histórico-epistemológicas de los profesores de ciencia y las del estudiantado, entre otros. En tal contexto se ha hecho objeto de investigación el problema de la modelación o de la construcción de modelos científicos en el aula.

Las diferencias histórico-epistemológicas entre teoría y modelo científico

La palabra teoría es polisémica y sus significados específicos dependen del contexto y de la intencionalidad comunicativa que se pretende. Entre los empiristas es más o menos opuesta al contenido factual que caracteriza a las ciencias de la naturaleza; ciencias que consideran un conjunto de observaciones “objetivas”, a partir de los cuales y por inducción se llega a las leyes que explican tales hechos. Dentro del pensamiento común y el de los artesanos teoría es opuesta a lo práctico, atribuyéndole a este la fuente de toda realización empírica y de progreso concreto.

Más allá de lo anterior, hay que recordar que, en castellano, perdió la “h” después de la “t” inicial, que se conserva en los otros idiomas occidentales modernos. “Theo” es dios y “ría” camino, por lo que en sus orígenes denominó aquella procesión que los griegos de la antigüedad llevaban a cabo antes de la guerra, con el fin de invocar la protección de los dioses. Luego y en el período del paso del “mito” al “logos”, llegó a significar contemplación, un estado especial del espíritu que permitía acceder al conocimiento verdadero.

Con los epistemólogos de la primera mitad del siglo XX y particularmente con el profesor K. Popper (1962), quien retomó la lógica deductiva para dar cuenta de lo acaecido en la física a finales del siglo XIX y comienzos del XX y con quien teoría pasó a ser un sistema de proposiciones conectadas entre sí mediante una lógica interna. Demostró, además, la incoherencia que se hallaba en la base de la lógica inductiva. Con las críticas correspondientes, T. S. Kuhn (1972) e I. Lakatos (1983) completaron la conceptualización y el análisis que debía adelantarse para atribuirle a una teoría estatuto científico. Dado que estas propuestas surgieron de los cambios en la imagen de ciencia y en la de actividad científica adelantada por los físicos, estudios posteriores cayeron en cuenta de que atribuirle ese estatuto a otras ciencias de la naturaleza, como, por ejemplo, la química y la biología, no era posible desde tales propuestas.

La conclusión anterior es consecuencia de lo establecido por los denominados epistemólogos historicistas. Así, T. S. Kuhn (1972) puntualizó que los estudios epistemológicos tenían necesariamente que soportarse en exámenes críticos de la historia de las ciencias. I. Lakatos (1983) complementó lo anterior al establecer que esos exámenes se hallaban cruzados por la adopción de una posición epistemológica. De esta manera, no es posible hablar de una única historia de las ciencias, sino de versiones de la misma, cada una de las cuales da cuenta propia de la construcción y desarrollo de cada teoría o programa de investigación. Para los posicionados en las aproximaciones empiropositivistas, la versión, a lo sumo, es aquella que hace referencia a la sucesión lineal de descubrimientos realizados por los grandes genios a los que aluden los textos de enseñanza (Gallego Torres, 2002); alusión que no se ocupa de analizar los contextos sociales, culturales, políticos y económicos que los hicieron posibles.

Estudios hechos desde una aproximación deductivista constructivista, han permitido afirmar que tanto la química como la biología, son construcciones conceptuales y metodológicas diferentes de las de la física. Ello se corrobora, por ejemplo, cuando se comparan los textos iniciales de I. Newton, de A. L. Lavoisier y de C. Darwin, si se acepta *El origen de las especies*, para tal efecto. En el caso de la "Principia" y la Óptica, los estudiosos han concluido que se hallan, en general, estructurados siguiendo el orden de definiciones, postulados, demostraciones y corolarios (Torres Assis, 1998); metodología que se acentuó en el siglo XVIII, con la versión que en la nueva matemática hacen de las obras de Newton, Lagrange y Laplace (Schneer, 1975). El *Tratado elemental de química*, de Lavoisier, de suma importancia para la constitución de la química como ciencia (Bensaude-Vincent, 1991a), no sigue la misma lógica, como tampoco el libro de Darwin.

Otra distinción necesaria, además, es la de que los objetos de saber y de investigación de físicos, químicos (Hoffmann, 1996) y biólogos obedecen a delimitaciones e intencionalidades comunitarias de saber no equiparables en sus especificidades.

De la misma forma, es la discusión en torno a aquello que se quiere decir en cada una de las respectivas comunidades de especialistas, con la categoría epistemológica de ley científica (Hanson, 1977). La denominada segunda ley de Newton, por ejemplo, recoge en su expresión matemática, la relación de proporcionalidad simple entre causa y efecto. No es este exactamente, el caso de las leyes ponderales de la química, como tampoco lo es el de la ley de la periodicidad de Mendeléiev (Bensaude-Vincent, 1991b). Algo análogo hay que afirmar en relación con la "ley de la evolución" para la cual todas las especies que han existido, existen y existirán sobre la superficie del planeta tierra, han sido, son y serán producto de tal ley.

Frente a la problemática de afirmar los estatutos científicos de la química y de la biología, se hizo necesario retomar la categoría epistemológica de modelo científico. Al igual que la categoría de teoría, la de modelo hay también que acotarla. Es usual referirla a cada uno de los tecnofactos que anualmente la industria automovilística y demás, ofrece en el mercado a los potenciales usuarios. Modelo es también la maqueta que a escala elaboran arquitectos e ingenieros para representar y mostrar la interpretación concreta del proyecto que aspiran desarrollar. Se suele igualmente, hablar de modelos pedagógicos, para designar cualquier ocurrencia, exitosa o no, de un grupo de profesores o de una institución.

Desde el punto de vista epistemológico, hay que referenciar los análisis realizados por especialistas en física (Giere, 1990; Lombardi, 1998). Se es del parecer de que estos tratadistas no contribuyen a la solución del problema acerca del estatuto científico de la química y de la biología. Señálese, sin embargo, que la profesora Lombardi, explicita que los modelos científicos de la física, se apoyan en el sistema axiomático de la matemática; apoyo este que hace que tales sistemas adquieran connotación semántica. Ese recurrir a los sistemas axiomáticos se remonta a

Galileo, para quien la representación de la cinemática de los cuerpos, tenía necesariamente que formularse idealmente; en otras palabras, el movimiento de los cuerpos reales, tenía que ser planteado en términos de puntos matemáticos para representar las trayectorias de manera geométrica. Galileo crea el concepto de experimento, retomando el saber de los artesanos. A partir de ese hecho histórico, las ciencias experimentales y las tecnologías se desarrollarán de manera imbricada.

Estas puntualizaciones pusieron de presente que cualquier modelo científico no es la realidad en sí de la que hablara Kant, sino una representación de la misma. Se sostuvo, entonces, que la naturaleza como objeto de saber, de investigación y de intervención, solo existe en virtud de que se construye un modelo para tal efecto (Scheler, 1969). Los tratadistas afirman que las comunidades de especialistas suelen formular, para una misma porción de naturaleza, diferentes modelos o modelos de modelos, dependiendo de las intencionalidades de dominio, control e intervención que las anima. Entre los interesados en la necesidad de dar cuenta del estatuto científico de la química, se cuenta con E. F. Caldin (2002), quien, además de adentrarse en una discusión sustentada de tal categoría, presenta una taxonomía de los modelos, clasificándolos en icónicos o gráficos, analógicos y simbólicos.

Los icónicos o gráficos son aquellos que la comunidad de especialistas propone para representar un objeto de saber que no le es accesible directamente por observación. Para la formulación se apoya en regularidades empíricas corroboradas y que el modelo icónico debe dar cuenta descriptiva y explicativamente. Como construcción el modelo no es en sí la porción de naturaleza, ya que es tan solo una representación. Podría traerse como ejemplo, el modelo atómico de Dalton, que fue objeto de modificaciones sucesivas, en especial con la introducción del concepto de valencia y el de estereoisomería, hasta su abandono definitivo a comienzo del siglo XX. Este ejemplo muestra igual-

mente, que los modelos icónicos o gráficos son de carácter conceptual y metodológico; metodológico en el sentido hipotético-deductivo.

Los modelos analógicos, igualmente como estructuras conceptuales y metodológicas, son aquellos que se formulan acudiendo a representaciones idealizadas de tecnofactos o de artefactos productos del saber artesanal. Son estas analogías las que centran la reflexión sobre el poder descriptivo, explicativo y productivo del modelo. No es que la porción de naturaleza que con ellos se representa, sea exactamente la máquina a la que se le hace análoga. En cierta medida hay que afirmar que detrás del modelo newtoniano del universo, hay un mecanismo de relojería; mecanismo que se halla en la base de la relación de proporcionalidad entre causa y efecto, y el poder predictivo de las leyes de Newton y la de la gravitación universal. En el modelo cinético molecular de los gases se identifica la analogía con la mesa de billar, desde su formulación inicial por Bernouilli, para explicar la ley de la relación presión volumen, de Boyle y Mariotte. Algo semejante hay que sostener en relación con la máquina ideal de Carnot, dentro de la termodinámica clásica. La mecánica ondulatoria tiene como referente el oscilador armónico simple y Einstein acude a la caída libre e imaginaria del ascensor, como experimento mental, para precisar su concepto de gravedad.

Los simbólicos son aquellos con los que se caracteriza el desarrollo histórico de la física. Como ya se estipuló (Lombardi, 1998), estos modelos son los que desde idealizaciones necesarias, acuden a los sistemas axiomáticos de la matemática para la elaboración de las proposiciones y la lógica que ha de articularlas como un todo. La necesidad de tales idealizaciones o de simplificaciones extremas, es la que permite, desde la geometrización inicial de las interacciones que se suponen han de existir entre los elementos del objeto de conocimiento delimitado, la asimilación de esos elementos a puntos matemáticos

cuyos movimientos han de seguir, en el modelo, las trayectorias lineales de las curvas matemáticas en las se les representan. Es así, aun cuando en la porción de naturaleza a la que hace referencia esos elementos sean cuerpos o partículas que ocupan un volumen y que en sus trayectorias no describen una línea, sino que barren una superficie.

Las particularidades de los ejemplos dados en las descripciones de los modelos icónicos o gráficos y en los analógicos, es fundamento para explicitar que esta taxonomía es una idealización que ha de servir como orientadora en los estudios acerca del desarrollo de cada una de las ciencias de la naturaleza; idealización que es una característica de la actividad científica. La pregunta es, ¿qué tan icónicos o gráficos, analógicos o simbólicos, considerados como puros, son los que han dominado en la construcción de cada una de las ciencias de la naturaleza? Una respuesta fue propuesta, en el sentido de que solo una reconstrucción histórica de cada una de estas ciencias, suministraría el criterio (Grecu y Dos Santos, 2005).

Esa reconstrucción histórica sería la que aportaría elementos de juicio para elaborar una versión admisible de las condiciones epistemológicas externas e internas (Lakatos, 1983) que posibilitaron la formulación, en cada una de las ciencias de la naturaleza, de los modelos científicos desde los cuales se afirma su estatuto científico. Esa reconstrucción es la que podría dar cuenta de una dinámica de formulaciones, admisiones, modificaciones y abandonos de modelos como características de la actividad de las comunidades científicas. Igualmente, sería la relación estrecha con los saberes tecnológicos, la que le confiere a la actividad científica credibilidad. No obstante, esa credibilidad, es la que pasa históricamente de un modelo al otro o de un modelo al que lo sustituye, como “saber básico”, que, por su naturaleza instrumental es indiscutible y es el que se transmite en los currículos empiropositivistas, dentro de la reducción tecnicista.

Algunos resultados de investigaciones acerca de la modelación

Las investigaciones con esta última especificación, en cuanto a las concepciones que sobre modelo científico y modelación han elaborado los profesores de ciencias, son relativamente recientes (Grosslight, Unger, Jay and Smith, 1991; Van Driel and Verloop, 1999; Justi and Gilbert, 2002; Justi, 2002; Crawford and Cullin, 2004). Hay que señalar igualmente los trabajos realizados por L. Galagovsky y A. Adúriz-Brvao (2001), J. M. Oliva, M. M. Aragón, M. Bonat y J. Mateo (2003) y S. M. Islas y M. A. Pesa (2003; 2004), la mayoría de estos últimos encaminados a identificar la concepción de modelo y de modelado o modelación en ciencias, en profesores en ejercicio y en aquellos que se forman para ser profesores. En general, concluyen que las ideas de estos grupos sobre modelo científico, se alejan de lo que han conceptualizado y acordado los especialistas.

Admitida la categoría de modelo científico, en la didáctica de las ciencias se han adelantado investigaciones centradas en la construcción de modelos científicos consensuados en el aula. Los resultados permiten concluir que como posible efecto de una educación científica limitada a la transmisión verbal de definiciones de conceptos y de algoritmos, la actividad didáctica de la modelación en el aula, no produce lo esperado. Que los profesores universitarios de ciencias, no han sido formados dentro del problema histórico-epistemológico de la construcción, desarrollo, modificación y sustitución de modelos científicos; ellos parecen seguir los esquemas transmitidos por la aproximación empiropositivista, en su reducción tecnicista. En otras palabras, tales profesores enseñan ciencias desde lo compendiado en los textos didácticos.

La didáctica de la modelación

Una de las admisibles causas de los resultados de las investigaciones reseñadas, podría ser el hecho de que la enseñanza se ha ocupado solo de la transmi-

sión de conceptos científicos aislados. Hay que precisar aquí la referencia que al respecto se hace de estos conceptos (Mosterín, 1978; 1984). Este autor los agrupa en clasificatorios o cualitativos, comparativos y métricos o cuantitativos o magnitudes; siendo estos últimos creaciones propias del lenguaje de las ciencias experimentales. Se destaca que los clasificatorios se originan en el saber común y cotidiano y emergen tempranamente en la actividad cognoscitiva humana y que las comunidades de especialistas los construyen en el interior de sistemas taxonómicos previamente establecidos. Los comparativos parecen derivarse de los clasificatorios y conducen a la creación de escalas de comparación, como la de Mohs de los mineralogistas. Estas no son métricas, por lo que sus valores carecen de magnitud. Estos conceptos determinan los procesos empíricos requeridos para clasificar o comparar.

Los métricos, cuantitativos o magnitudes, que se subclasifican en escalares, vectores y tensores, son los que adquieren su significado particular dentro de cada modelo científico correspondiente. De conformidad con la lógica interna que articula las proposiciones, esos conceptos le confieren significado al modelo con los cuales se estructuran. Los análisis históricos – epistemológicos permiten concluir que los significados de cada uno de esos conceptos, se han transformado en la medida de la modificación y cambio de los modelos respectivos. Hay que dejar sentado que la definición aislada de los conceptos científicos, es problemática, tal como ocurre con el de energía (Berkson, 1981), al respecto de la cual se sostiene que todas las definiciones de energía en los libros de textos, no posibilitan comprender la dimensión conceptual, metodológica y tecnológica de dicho concepto.

Dentro de los análisis adelantados, se ha propuesto para ellos una estructura trina (Gallego Badillo, 1996), en la que, por un lado, se explicita que los conceptos métricos hacen referencia a propiedades, fenómenos o interacciones; por otro, a su compo-

nente matemático, en virtud de que con algunas excepciones, se alude a que todos ellos se hallan estipulados en ecuaciones, algunas de las cuales expresan regularidades como postulado o como leyes científicas; y, el instrumental o tecnológico, dado que cada uno de estos conceptos implica un tecnofacto o un montaje de instrumentos para medir experimentalmente las variaciones de las propiedades, fenómenos o interacciones a las cuales hacen referencia. La comprensión de su carácter metodológico exige una formación científica que se deriva de una inmersión en el carácter histórico de las ciencias de la naturaleza como actividad humana.

Hechas las precisiones anteriores, una enseñanza de las ciencias reducida a la transmisión de las definiciones aisladas de los conceptos científicos, podría tener su origen en el dominio de aproximaciones empiropositivistas en sus reducciones tecnicistas, en las que esa enseñanza limitada a las definiciones de los mismos y al entrenamiento en el empleo de los algoritmos correspondientes, para la resolución de ejercicios de lápiz y papel o al seguimiento más o menos mecánico de guías para las prácticas de laboratorio, cuando estas se llevan a cabo por estricta exigencia de los planes curriculares. El problema del modelo en el que adquieren su significado pleno, justamente por esta aproximación epistemológica, no es trabajado.

Trabajos recientes en el campo de la confiabilidad de los textos de enseñanza (Cuéllar Fernández, 2004; García Torres, 2004; Camacho González, 2005), conducen a afirmar que en los textos analizados predomina la aproximación y el reduccionismo anotados. Una generalización establecería que la práctica habitual de una enseñanza limitada a las definiciones y al uso de algoritmos, parecería ser transmitida por tales textos; textos no solo de uso en la educación básica y secundaria, sino también en los primeros años de la educación en ciencias de los currículos universitarios, que si bien los analizados son de programas de formación inicial de profesores

de ciencias, son los recomendados y empleados por los profesores de programas para la formación en ciencias de otros profesionales.

Aun cuando no se puede sostener un origen único de esta práctica habitual, algunas veces no sustentadas, es indispensable señalar que, con fundamento en J. Piaget y en T. S. Kuhn, se propuso un aprendizaje como cambio conceptual (Posner, Strike, Hewson y Herzog, 1982); que fue objeto de una contrapropuesta, desde la estipulación de que las ciencias estaban conformadas por estructuras conceptuales y metodológicas (Gil Pérez y Carrascosa Alís, 1985), además de la calificación de que se quedaba en una versión meramente conceptualista (Pozo, 1992). A pesar de estas críticas y de lo anotado en cuanto al análisis epistemológico de la estructura de los conceptos científicos, todavía trabajos de tesis siguen ocupándose del supuesto problema de la enseñanza de los conceptos científicos. Hecho este que podría ser interpretado como consecuencia del peso que tiene una tradición y una concepción, en las que los textos de enseñanza son la fuente dominante. Se afirma, entonces, que la enseñanza de las ciencias en los niveles básico, medio y universitario, es de segunda mano, cuando no de tercera.

Es la pregunta que se han hecho los integrantes del Grupo IREC. Los resultados de proyectos de investigación adelantados por ese Grupo sobre la formación inicial de profesores de ciencias en Colombia (Gallego Badillo, Pérez Miranda y Torres de Gallego, 2004; Gallego Badillo, Pérez Miranda, Torres de Gallego y Amador Rodríguez, 2004; Gallego Badillo, Pérez Miranda y Gallego Torres, 2006), hablan a favor del predominio en estos programas, del paradigma habitual de la transmisión verbal de contenidos, del seguimiento de la aproximación empiriosustantivista en su reducción tecnicista.

En este orden de ideas, esa práctica habitual hace un uso no crítico de los textos de enseñanza; le atribuye poca importancia a la historia de las ciencias y no hace objeto de trabajo en el aula las correspondientes teorías o modelos para dar cuenta de los conceptos científicos en los que se centra su planifica-

ción curricular. La didáctica de las ciencias como una disciplina conceptual y metodológicamente fundamentada y los resultados de las investigaciones en los campos de saber delimitados por esta comunidad de especialistas, brilla por su ausencia, dado que para los profesores de estos programas, el paradigma artesanal de que basta con dominar una ciencia para enseñarla, es el eje vertebral de esa formación inicial. La didáctica de la modelación resulta, en este contexto, una propuesta exótica.

La didáctica de la modelación ha de concebirse como un proceso mediante el cual un profesor de ciencias hace objeto de trabajo en el aula un modelo científico determinado, que ha sido o es admitido o consensuado, por la correspondiente comunidad de especialistas. Para la realización de este trabajo profesional, ha de acudir, posicionado epistemológicamente, a la historia de la construcción y admisión de tal modelo, delimitando conceptual y metodológicamente los problemas que hicieron necesaria su formulación, aquellos que resolvió y los que posibilitaron tanto su modificación paulatina, como su abandono definitivo y su sustitución por otro de mayor potencial heurístico. De hecho, ha de ubicarlo dentro de la taxonomía que los tratadistas han establecido, precisando qué tanto tiene de icónico, de analógico o de simbólico y en cada caso demostrar cuánto se aproxima a uno de los anteriores. Siendo así, esclarecer las analogías y los contenidos semánticos de los sistemas axiomáticos en el que se expresa la lógica interna que hace de las proposiciones una totalidad descriptiva y explicativa.

Ha el profesor de ciencias de dar razones didácticas y pedagógicas de por qué hace objeto de trabajo en el aula un modelo científico que ya fue abandonado y sustituido por la comunidad de especialistas. En esto, ha de ser conciente de lo puntualizado por T. S. Kuhn (1972), de que en aula se hace historia de la ciencia respectiva, aún cuando los profesores, conociéndolo o no, no siguen la metodología de los historiadores de estas disciplinas. La perspectiva no develada podría ser que, como ocurre cuando se introduce a los estudiantes en la comprensión de los diferentes

modelos atómicos, que ellos accedieran al convencimiento de que la actividad científica se halla remitida a la elaboración de analogías acerca de la naturaleza y que los modelos correspondientes no son verdades absolutas. Sin embargo y hay que anotar, la enseñanza habitual comprometida con las aproximaciones empiropositivistas, en su reducción tecnicista, impide la posibilidad de esta intencionalidad.

Establézcase que el dominio de partida que ha de elaborar el profesor de ciencias radica en la lectura crítica de los originales de los artículos de las revistas especializadas, en las que cada modelo fue puesto en circulación, aceptado para su publicación, analizado por los miembros de la comunidad, corroborado por los mismos, citado en artículos de revistas igualmente especializadas, modificado con nuevas elaboraciones conceptuales y metodológicas y, finalmente, sustituido. Desde esta versión de primera mano, el hacer objeto de trabajo en el aula ese modelo, exige necesariamente y de conformidad con el nivel del sistema educativo, la transposición didáctica (Chevallard, 1985) o la recontextualización didáctica que desde su saber profesional como didacta de las ciencias, considera que es la que introducirá paulatinamente a sus estudiantes en la construcción de dicho modelo.

Esa transposición o recontextualización podría llevarse a cabo a través de la elaboración didáctica de un modelo analógico (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001) del modelo científico correspondiente. Construir un modelo didáctico análogo, entre los responsables del presente artículo, no significa caer en las “simplicidades o simplificaciones pedagógicas” habituales, en las que las analogías de partida o, si se quiere, “ejemplos perdonables que reclaman los pedagogos”, trivializan y tergiversan los modelos y la historia de la actividad científica, recurriendo, por ejemplo como en el caso de Colombia, a la idea aristotélica de que los seres humanos hacen ciencia por curiosidad y de que todos aquellos que tienen ideas respetables acerca del comportamiento de la natura-

leza, son científicos, sin importar el reconocimiento que la correspondiente comunidad de especialistas le ha otorgado en sus revistas.

Los miembros del Grupo IREC insisten en el parecer de que la transposición o recontextualización se apuntala en la formulación de unos supuestos también didácticos a partir de los cuales ha de elaborarse el modelo didáctico análogo; supuestos que han de predecir resultados en relación con la construcción final que en el colectivo aula y de manera crítica, se hará de tal modelo. Para evitar caer en las explicaciones habituales de los profesores de ciencias, no fundamentadas en el saber didáctico, el proceso ha de diseñar y aplicar sistemas de recolección de información que posibilite emitir explicaciones didácticas admisibles.

Un profesor de ciencias formado en la didáctica o interesado y seguidor de los desarrollos conceptuales y metodológicos que han aportado las investigaciones en esta disciplina, ha de saber que los estudiantes con los cuales trabaja, han elaborado explicaciones aceptables acerca de la naturaleza; explicaciones tales que proceden del saber común y cotidiano del cual proceden y que de manera relativamente exitosa, le han permitido a la generación de los mayores, arreglarse descriptiva y explicativamente con su entorno. Estas explicaciones poseen una historia cultural, social, política y económica, que las ha impuesto, incluso mediante el sistema educativo. Con su carga ideológica, se transmite de padres a hijos, como la manera única de encajar como individuo en la comunidad correspondiente y es posible que sea la necesidad de ese encaje el que establezca el dominio de dichas explicaciones.

Esas elaboraciones pueden ser también el producto de experiencias escolares anteriores, en las que profesores de ciencias se ocuparon de transformar las concepciones elaboradas a partir del conocimiento común y cotidiano de sus alumnos, o, por el contrario, inscritos de manera conciente o no, en la aproximación empiropositivista en su reducción tecnicista,

hacen caso omiso de esos conceptos y se ocupan de transmitir definiciones de conceptos y del entrenamiento para aplicar algoritmos a la resolución de ejercicios de lápiz y papel. Son estos profesores los que siguen el paradigma de los maestros artesanos.

Los párrafos anteriores puntualizan que, en la didáctica de las ciencias y la educación científica, desde mediados del siglo XX la vieja idea empirista de la “tabula rasa”, dejó de tener sentido. Este dejar de tener sentido posee una historia; historia que se inicia con lo de los errores conceptuales, con lo de los preconceptos, sigue con lo de las ideas alternativas (Furió, 1996; Pozo, 1996). En la actualidad con la emergencia de la categoría de modelo científico, ha emergido como campo de investigación la de modelo mental (Greca y Moreira 2005; Gutiérrez, 2005). Para la elaboración del análogo didáctico, es necesario identificar y caracterizar las concepciones de los estudiantes en relación con los conceptos científicos que estructuran al modelo objeto de trabajo en el aula. De la misma manera, sus ideas en cuanto a teoría y modelo científico.

El modelo didáctico análogo ha de constituirse en el mediador entre las concepciones histórico-epistemológicas, didácticas y pedagógicas del profesor de ciencias y las concepciones de los estudiantes (Gallego Badillo, 2004); esta mediación ha de hacer del colectivo aula un símil de los congresos propios de las comunidades de especialistas. Esto quiere decir que han de estar disponibles versiones de los artículos originales en los que se propuso, se admitió, modificó y abandonó el modelo, como los de aquel que lo sustituyó, además, por supuesto, de algunos textos de enseñanza especialmente seleccionados. Todo lo anterior, con el fin de que los estudiantes identifiquen y delimiten el respectivo objeto de conocimiento, esto es, los fenómenos o interacciones de las cuales da cuenta el modelo, para que elaboren una propuesta de modelo, especifiquen y sustenten si es icónico, analógico o simbólico, o para ellos ha sido necesario emplear la característica de todos los anteriores.

El símil que propicia el didáctico análogo, ha de ser completo, en el sentido de que, además de aproximarlo al modelo objeto de trabajo en el aula, ha de propiciar la reconstrucción de las competencias leer, escribir y hablar, con fundamento en las de interpretar, argumentar y proponer, a partir de la construcción paulatina del lenguaje conceptual y metodológico de tal modelo (Pérez Mirand, Gallego Badillo, Torres de Gallego y Cuella Fernandez, 2004). Puesto que desde lo sostenido por los sociólogos del conocimiento, las ciencias han obedecido a una construcción colectiva (Hodson, 1985), la didáctica de la modelación ha de tener como uno de sus fundamentos, la actividad adelantada por pequeños grupos y su correspondiente socialización en plenarias en el colectivo aula; plenarias en las que los relatores de los grupo y por escrito, han de exponer y sustentar con argumentos lógicos y empíricos, sus interpretaciones y propuestas.

Es en este contexto en el que emerge la categoría didáctica de interacciones. Se asume, entonces, que ella se refiere a las relaciones de intercambio y, por tanto de comunicación, entre las concepciones del profesor de ciencias delimitadas por sus elaboraciones acerca del modelo científico y su análogo didáctico, las de cada uno de los estudiantes y las de ellos entre sí; en la medida en que individualmente, entre los grupos y en las plenarias del colectivo aula, someten a los demás y al profesor, las construcciones conceptuales y metodológicas que poco a poco permiten sostener sus aproximaciones admisibles al modelo científico que se hace objeto de trabajo en el aula. Estas relaciones de intercambio, en las que interviene el profesor para las indispensables críticas y recomendaciones, son las que podrían introducir a los estudiantes a una imagen de las ciencias y de la actividad científica, diferente de la transmitida por la propuesta empiropositivista y su reducción tecnicista.

El análogo didáctico, según lo anotado, crea el ambiente para que los estudiantes elaboren la idea de que las ciencias, como una actividad humana

especializada, posee una historia que se enmarca en un contexto social, cultural, político y económico y, así, que no es el producto de individuos geniales y aislados que, por algún sortilegio de la genética, nacieron especialmente programados o designados para entender ese mundo humano, que es el de la producción de saber en las ciencias de la naturaleza.

En este sentido, la propuesta que aquí se desarrolla, estaría en conjunción con lo alegado por Matthews (1994), quien es del parecer de que la introducción de la historia de las ciencias en la enseñanza de las mismas, puede contribuir a que los estudiantes elaboren una idea mucho más cercana a la actividad científica, de las propuestas de modelos que han regulado y regulan esa actividad y de que ser científico es una opción que los individuos, hombres y mujeres, toman en una etapa de su formación como estudiantes de cada sistema educativo particular; sistema que incorpora en los correspondientes currículos oficiales, la enseñanza de los modelos

científicos, siguiendo intencionalidades ideológicas, políticas y económicas identificables.

A manera de conclusión

En el mundo actual en el que las relaciones entre los seres humanos se halla afectada por los productos de las investigaciones científico-tecnológicas, los interrogantes para los que hay que construir respuestas socialmente consensuadas, son: ¿Qué imagen de ciencia y de actividad científica se socializa entre los estudiantes de los niveles básico, secundario y universitario?, ¿cuáles imágenes transmiten la dominación de la aproximación empiropositivista y su reducción tecnicista?, ¿qué justificaciones históricas e ideológicas podrían dar cuenta de este hecho didáctico y educativo?, ¿de qué manera una comunidad docente que se desempeña en todos los niveles de un sistema educativo, lleva a cabo su trabajo centrado en los textos de enseñanza, como única fuente confiable?

Bibliografía

- Galagovsky, L.; Adúriz-Bravo, A. (2001). "Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico", *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 231-242.
- Bachelard, G. (1982). *La formación del espíritu científico*, México, Siglo XXI.
- Bensaude-Vincent, B. (1991a). "Mendelejeff: historia de un descubrimiento". En: Serres, M. (ed). *Historia de las ciencias*, Madrid, Cátedra, 503-525.
- Berkson, W. (1981). *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*, Madrid, Alianza.
- Caldin, E. F. (2002). "The structure of chemistry in relation to the philosophy of science". *International Journal for Philosophy of Chemistry*, vol. 8, No. 2, 103-121. En línea: <http://hyle.org/journal/issuues/8-2/caldin.html>
- Camacho González, J. P. (2005). Ley periódica. *Una reflexión didáctica desde la historia de las ciencias*, tesis de maestría, Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional.
- Crawford, B. A.; Cullin, M. J. (2004). "Supporting prospective teachers' conceptions of modeling in science", *International Journal of Science Education*, vol. 26, No. 11, 1379-1401.
- Chevallard, Y. (1985). La transposition didactique. *Du savoir savant au savoir enseigné*, Grenoble, La pensée Sauvage.
- Cuéllar Fernández, L. H. (2004). *El modelo atómico de Ernest Rutherford. Del saber sabio al saber escolar*, tesis de maestría, Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional.
- Furió, C. (1996). "Las concepciones alternativas del alumnado. Dos décadas de investigación. Resultados y tendencias", *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, No. 7, 7-17.
- Gallego Badillo, R. (1996). *Discurso constructivista sobre las ciencias experimentales*, Bogotá, Cooperativa Editorial Magisterio.

- Gallego Badillo, R.; Pérez Miranda R.; Torres de Gallego, L. N. (2004). "Formación inicial de profesores de ciencias en Colombia: un estudio a partir de programas acreditados", *Ciência & Educação*, vol. 10, No. 2, 219-234.
- Gallego Badillo, R.; Pérez Miranda, R.; Gallego Torres, A. P. (2006). *El aprendizaje del oficio de enseñar ciencias. Sentires y pareceres*, informe de investigación, Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional.
- Gallego Badillo, R.; Pérez Miranda, R.; Torres de Gallego, L. N.; Amador Rodríguez, R. Y. (2004). *La formación inicial de profesores de ciencias en Colombia. Contrastación de fundamentos*, memoria de investigación, Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional.
- Gallego Badillo, R. (2004). "Un concepto epistemológico de modelo para la didáctica de las ciencias experimentales", *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, vol. 3, No. 3, Art. 4. En línea: <http://www.saum.uvigo.es/reec>
- Gallego Torres, A. P. (2002). *Contribución del cómic a la imagen de la ciencia*, tesis doctoral, Valencia, Universidad de Valencia.
- García Torres, A. M. (2004). *La transposición didáctica del modelo de la estructura química del ADN. Un análisis de textos de enseñanza universitaria*, tesis de maestría, Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional.
- Gieré, R. N. (1990). *Explaining Science*, Chicago, University of Chicago Press.
- Gil Pérez, D.; Carrascosa Alís, J. (1985). "Science learning as a conceptual and methodological change", *European Journal of Science Education*, 7(3), 231-253.
- Gil Pérez, D.; Carrascosa Alís, J.; Martínez-Terrades, F. (1999). "El surgimiento de la didáctica de las ciencias como campo específico de conocimientos", *Revista de Educación y Pedagogía*, vol. XI, No. 25, 13-65.
- Grosslight, L.; Unger, C.; Jay, E.; Smith, C. (1991). "Understanding models and their use in science conceptions of middle and high school teachers and experts", *Journal of Research in Science Teaching* 28(9), 799-882.
- Greca, I. M.; Dos Santos, F. M. T. (2005). "Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em ciências: O caso da física e da química", *Investigações em Ensino de Ciências*. En línea: http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol10/n1/v7_n1_a2.htm
- Greca, I. M.; Moreira M. A. (2005). "Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora", *Investigações em Ensino de Ciências*, vol. 7, No. 1, 1-24. En línea: http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n1/v10_n1_a2.html
- Gutiérrez, R. (2005). "Polisemia actual del concepto 'Modelo mental'. Consecuencias para la investigación didáctica", *Investigações em Ensino de Ciências*. En línea: http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol10/n1/v10_n1_a2.htm
- Hanson, N. R. (1977). *Patrones de descubrimiento, observación y explicación*, Madrid, Alianza.
- Hodson, D. (1985). "Philosophy of science, science and science education", *Studies in Science Education*, 12(1), 25-27.
- (1992). "In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education", *International Journal of Science Education*, 14(5), 541-566.
- Hoffmann, R. (1997). *Lo mismo y no lo mismo*. México, Fondo de Cultura Económica.
- Islas, S. M.; Pesa, M. A. (2003). ¿Qué rol asignan los profesores de física de nivel medio a los modelos científicos y a las actividades de modelado?, *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 57-66.
- (2004). "Concepciones de los profesores sobre el rol de los modelos científicos en clases de física", *Revista de Enseñanza de la Física*, vol. 17, No. 1, 43-50.
- Justi, R. S. (2002). "Modelling Teachers' views on the Nature of modeling and implications for the Education of modelers", *International Journal of Science Education*, vol. 24, No. 4, 369-387.
- Justi, R. S.; Gilbert, J. K. (2002). "Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modeling in learning science", *The International Journal of Science education*, 24, 1273-1294.
- Kawasaki, K.; Herrenkohl, L. R. (2004). "Theory building and modeling in a sinking and floating unit: a case study of third and fourth grade students' developing epistemologies of science", *International Journal of Science Education*, vol. 26, No. 11, 1299-1324.

- Kuhn, T. S. (1972). *La estructura de las revoluciones científicas*, México, Fondo de Cultura Económica.
- akatos, I. (1983). *La metodología de los programas de investigación*, Madrid, Alianza.
- Lombardi, O. (1998). "La noción de modelo en ciencias", *Educación en Ciencias*, vol. II, No. 4, 5-13.
- Matthews, M. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*, New York, Routledge.
- Moreira, M. A. (1994). "Diez años de la revista *Enseñanza de las Ciencias: De una ilusión a una realidad*", *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 147-153.
- Mosterín, J. (1978). "La estructura de los conceptos científicos", *Investigación y Ciencia*, No. 16, 82-93.
- (1984). *Conceptos y teorías en la ciencia*, Madrid, Alianza.
- Oliva, J. M.; Aragón, M. M.; Bonat, M.; Mateo, J. (2003). "Un estudio sobre el papel de las analogías en la construcción del modelo cinético-molecular de la materia", *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 429-444.
- Popper, K. (1962). *La lógica de la investigación científica*, Madrid, Tecnos.
- Posner, G. J.; Strike, K. A.; Hewson, P. W.; Gertzog, W. A. (1982). "Acomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change", *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Pozo, J. I. (1992). "El aprendizaje y la enseñanza de hechos y conceptos". En: *Los contenidos de la reforma. Enseñanza de conceptos, procedimientos y actitudes*, Madrid, Santillana.
- (1996). "Las ideas del alumno sobre ciencias. De dónde vienen, a dónde van y... mientras tanto qué hacemos con ellas", *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, No. 7, 18-26.
- Scheler, M. (1969). *Conocimiento y trabajo*, Buenos Aires, Nova.
- Schneer, J. C. (1975). *Mente y materia*, Barcelona, Bruquera.
- Solano, I.; Jiménez-Gómez, E.; Marín, N. (2000). "Análisis de la metodología utilizada en la búsqueda de 'lo que el alumno ya sabe' sobre fuerza", *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 171-188.
- Torres Assis, A. K. (1998). "Newton e suas grandes obras: O Principia e o Óptica". En: De Almeida, M. J. P. M.; Da Silva, H. C. (Orgs.). *Linguagens, leituras e ensino da ciência*, Campinas, Mercado de Letras, pp. 37-52.
- Van Driel, R. S.; Verloop, N. (1999). "Teachers' knowledge of models and modeling in science", *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1153.