
LA ENSEÑANZA DE CIENCIAS BASADA EN LA ELABORACIÓN DE MODELOS

JUSTI, ROSÁRIA

Departamento de Química y Programa de Postgrado en Educación de la Facultad de Educación. Universidad Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte. Brasil
rjusti@ufmg.br

Resumen. Se discute una propuesta para planificar la enseñanza de ciencias y la puesta en práctica de actividades, orientada a disminuir el énfasis que se ha venido haciendo en la transmisión de conocimientos. En nuestra propuesta se trata de poner a los alumnos en disposición de comprender los modelos científicos (así como la naturaleza de la ciencia y sus formas de pensamiento asociados) y a la vez ser capaces de manejar con sentido crítico situaciones relacionadas con las ciencias. Esta propuesta surge de la constatación de que para elaborar estrategias de enseñanza se necesita tomar en consideración a la vez aspectos de diferente naturaleza, así como un modelo cognitivo de la ciencia que se fundamente en la construcción de modelos (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003).

Palabras clave. Enseñanza de ciencias, construcción de modelos, aprendizaje.

Modelling-based Science Teaching

Summary. The need for teaching strategies elaborated by taking into account several different nature features as well as a cognitive model of science (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003) based on the construction of models is presented. From them, a proposal is discussed for planning science teaching and conducting teaching activities that aim at changing the emphasis in science education from the transmission of existing knowledge to situations in which students will really understand the models of science (as well as the nature of science and the scientific reasoning) and be able to critically deal with science-related situations.

Keywords. Science teaching, modelling, learning.

¿POR QUÉ UNA NUEVA PROPUESTA PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS?

En un artículo del volumen conmemorativo de los veinticinco años del *International Journal of Science Education*, Derek Hodson reconoce que el currículo escolar de ciencias ya no atiende a las necesidades, intereses y aspiraciones de los jóvenes ciudadanos de principios del siglo XXI; y defiende además que es el momento de reaccionar en relación con este currículo. Según Hodson, antes era posible prever los conocimientos, habilidades

y actitudes que las alumnas y alumnos deberían haber desarrollado en la escuela, y que les serían necesarios para trabajar de por vida. Por el contrario, ahora estamos educando alumnos que van a vivir en un mundo sobre el cual sabemos bien poco, pero que, sin embargo, se va a caracterizar por rápidos cambios y probablemente será mucho más complejo e incierto del que experimentamos hoy. Esta situación exigirá de cada individuo no sola-

mente que tenga una instrucción general amplia, sino que además posea destrezas de comunicación, adaptación y un compromiso con el aprendizaje continuo (Millar y Osborne, 1998). Ante esta realidad surge una pregunta extremadamente relevante: «¿Qué tipo de enseñanza de ciencias será adecuada para prepararlos para este mundo relativamente desconocido?» (Hodson, 2003).

Tanto Hodson como las actuales propuestas curriculares de muchos países occidentales consideran que las ciencias deben formar parte del currículo porque los ciudadanos del siglo XXI deberán analizar situaciones y tomar decisiones sobre asuntos que tienen que ver con conocimientos científicos o bien con habilidades técnicas. Desde esta perspectiva es incoherente pensar que la enseñanza de ciencias se limite a la transmisión de una serie de conocimientos desvinculados y muchas veces obsoletos, y que el papel del alumno sea solamente acumular tales conocimientos. Por el contrario, esta perspectiva implica promover un modelo de enseñanza que ayude a las alumnas y alumnos a desarrollar una comprensión más coherente, flexible, sistemática y principalmente crítica. También propone Hodson (1992, 2003) que tal modelo de enseñanza debe tener como objetivo poner al alumno en condición de:

– *Aprender ciencia y tecnología*, es decir, desarrollar conocimientos teóricos y conceptuales en ciencias y tecnología.

– *Aprender sobre ciencia y tecnología*, es decir, comprender la naturaleza de la ciencia y la tecnología, así como sus métodos de trabajo, y ser consciente además de las complejas interacciones entre ciencia, tecnología y sociedad.

– *Hacer ciencia y tecnología*, es decir, implicarse en investigaciones y resolución de problemas científicos.

– *Implicarse en acciones sociopolíticas*, es decir, adquirir la capacidad de reaccionar de forma adecuada, responsable y efectiva en situaciones de ámbito social, económico, ambiental y ético-moral, con compromiso y a la vez valorar la importancia de su papel en tales situaciones.

De este modo los alumnos pueden desarrollar formas de pensar y aprender que se asemejan bastante a las formas científicas de pensar e investigar (Halloun, 2004).

A pesar de que, tal como se ha señalado con anterioridad, estos objetivos están presentes en las propuestas educativas de muchos países, la investigación en educación, así como nuestra experiencia cotidiana en las aulas nos muestran que dichos objetivos se han alcanzado en un grado muy pequeño. Los alumnos que tienen interés por las ciencias son en general una minoría en todos los países, e incluso para ellos las dificultades de aprendizaje son enormes. Se pueden señalar múltiples razones para justificar el bajo nivel de aprendizaje de los alumnos: la desvalorización, por parte de los propios estudiantes y a veces del grupo social al que pertenecen, de la adquisición de conocimientos científicos; otros intereses

más inmediatos de las y los alumnos; presentación de las ciencias tanto en la escuela como en los medios de comunicación como un área difícil y resultante de la aplicación de poderosos métodos objetivos y fidedignos; presentación de la ciencia por parte de profesores y autores de libros de texto de una forma que no hace que los alumnos le den sentido, o bien como una memorización de hechos, fórmulas, etc. Sin agotar la lista de razones, es posible apreciar incluso que muchas de éstas se relacionan unas con otras y, por tanto, proponer soluciones para el problema no consistirá solamente en hacer modificaciones a los temas que se presentan a los alumnos en el aula. Por muy interesantes que sean estos temas, si se presentan de manera que los alumnos no aprecien qué sentido tiene aprenderlos o bien de manera que no se favorezca el aprendizaje, la situación actual tiende a perpetuarse.

Durante las últimas décadas del siglo pasado, la preocupación creciente de educadores e investigadores acerca del aprendizaje de las ciencias llevó a realizar múltiples investigaciones que identificaron y pusieron de manifiesto la importancia de tener en cuenta las ideas previas de los alumnos (Driver, Squires, Rushworth y Wood-Robinson, 1994; Gilbert, Osborne y Fensham, 1982). Tanto investigadores como profesores comenzaron a darse cuenta de que es preciso considerar las ideas que los alumnos traen al aula –tanto si han sido elaboradas en situaciones cotidianas como si lo han sido durante los años de escolarización anterior– a la hora de seleccionar y organizar los contenidos que se van a enseñar y también a la hora de proponer una metodología de enseñanza para dichos contenidos. Como estas ideas previas tienen sentido para las y los alumnos y son útiles cuando justifican las explicaciones que deben dar, en general están firmemente arraigadas en la estructura cognitiva de los alumnos y, por tanto, son muy resistentes al cambio (Eylon y Linn 1988; Treagust, Duit y Fraser, 1996).

Al tener en cuenta estos aspectos empezaron a aparecer una serie de investigaciones que se interesaban en cómo los alumnos modifican sus ideas previas acercándolas a las ideas científicas. En un análisis crítico de tales investigaciones, Duit y Treagust (2003) hicieron un resumen de algunos argumentos que muestran qué elementos esenciales tienen las propuestas que tratan de favorecer el cambio en las ideas de los alumnos. Según ellos:

– No tiene sentido considerar que el cambio conceptual tiene lugar en los contenidos o, más concretamente, en los conceptos aislados. Al contrario, es importante tener en cuenta que comprender las ciencias engloba conocimientos *de* conceptos y principios científicos y *sobre* ese mismo conocimiento. Los conceptos científicos no existen de forma aislada unos de otros (en muchas ocasiones, de otras áreas de la ciencia) e independientemente de los contextos sociales, ambientales y tecnológicos en que aparecen (Fensham, 2001).

– No se debe hacer énfasis principalmente en el aspecto racional, es decir, en la estructura lógica de los contenidos de la ciencia, sino también en los aspectos afectivos y sociocognitivos del aprendizaje.

– Puesto que el aprendizaje es un proceso gradual de enriquecimiento y reestructuración de las estructuras conceptuales de los alumnos (Vosniadou y Ioannides, 1998), no se debe hacer énfasis en el conflicto cognitivo, que produce el cambio conceptual mediante rápidas confrontaciones de ideas.

Cada uno de los elementos esenciales de estos argumentos ha originado investigaciones que han contribuido a aumentar nuestra comprensión acerca de los procesos de enseñanza y de aprendizaje. Mientras tanto, como éstos son procesos complejos, creemos que es importante buscar una mayor integración de tales elementos en aquellas propuestas que traten de favorecer el aprendizaje. En este mismo sentido sería importante que tales propuestas estuviesen también constituidas por algunos elementos metodológicos –no en el sentido de ofrecer recetas para que los profesores puedan enseñar un determinado tema, sino en el de orientar a estos mismos acerca de aquellos aspectos en los que deben centrar la atención durante el proceso de enseñanza. Desde este punto de vista discutimos aquí una propuesta de enseñanza de ciencias basada en actividades de construcción de modelos.

MODELOS EN LA VIDA DIARIA, EN LAS CIENCIAS Y EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

El significado más popular de la palabra *modelo* es el de que «modelo es una representación concreta de alguna cosa». Desde la infancia cada persona aprende y maneja este concepto mientras juega con miniaturas, mira maniqués en los escaparates de las tiendas o bien observa modelos en los museos. En estos casos, así como en otros, el modelo reproduce los principales aspectos visuales o la estructura de la «cosa» que está siendo modelada, convirtiéndose de este modo en una «copia de la realidad».

El significado de *modelo* ha sido discutido, entre otros, por científicos, filósofos de la ciencia, psicólogos, lingüistas y educadores. Actualmente el punto de vista más aceptado es que un *modelo* es una representación de una idea, objeto, acontecimiento, proceso o sistema, creado con un objetivo específico (Gilbert, Boulter y Elmer, 2000). Como han destacado Morrison y Morgan (1999), la palabra *representación* no se usa solamente en aquellos casos en los que exista un tipo de exhibición de aspectos visuales de la entidad modelada, sino también como una representación parcial que al mismo tiempo «abstrae de» y «traduce de otra forma» la naturaleza de esa entidad.

Como se ha discutido antes, el uso cotidiano de la palabra *modelo* hace énfasis en su existencia concreta. Los modelos son generalmente vistos como «copias de la realidad», estando esta realidad constituida por cosas (objetos, acontecimientos, procesos o sistemas) que son externas a la mente del individuo. Mientras, los modelos se generan a partir de ideas (construcciones internas de la mente del individuo). La elaboración de un *modelo mental* es una actividad llevada a cabo por individuos, en solitario o bien integrados en un grupo. El resultado

de tal actividad no es accesible de forma directa; sin embargo, se puede expresar mediante acciones, el habla, la escritura u otra forma simbólica. Así lo que podemos conocer de un modelo mental es lo que denominamos *modelo expresado* (Gilbert y Boulter, 1995).

En la construcción y utilización del conocimiento científico, independientemente de la forma de representación empleada, los modelos son representaciones mentales mediante las que los científicos razonan (Clement, 1989; Giere, 1999; Gilbert, 1993; Nersessian, 1999). Se reconoce que la principal función de los modelos es la capacidad que tienen de ser representaciones del mundo producidas por el pensamiento humano (Giere, 1999). Además, los modelos se pueden utilizar para: simplificar fenómenos complejos (Rouse y Morris, 1986); ayudar en la visualización de entidades abstractas (Bent, 1984; Francoeur, 1997); servir de apoyo en la interpretación de resultados experimentales (Tomasi, 1988; Vosniadou, 1999); servir también de ayuda en la elaboración de explicaciones (Erduran, 1998; Vosniadou, 1999) y en la propuesta de previsiones (Mainzer, 1999; Vosniadou, 1999).

Un aspecto importante que han destacado Morrison y Morgan (1999) es que los modelos son instrumentos mediadores entre la realidad y la teoría porque son autónomos con relación a ambos. Según estas autoras, los elementos que contribuyen a tal autonomía están relacionados con:

– *El proceso de construcción de modelos.* Los modelos se construyen a partir de una mezcla de elementos tanto de la realidad modelada como de la teoría, y también de otros elementos externos a ellos. Además la construcción de modelos siempre implica simplificaciones y aproximaciones que han de ser decididas independientemente de requisitos teóricos o de condiciones de los datos.

– *La función de los modelos.* Como hemos destacado con anterioridad, los modelos son instrumentos que adoptan formas distintas y tienen muchas funciones diferentes. Como instrumentos son independientes de la «cosa» sobre la que operan; sin embargo, se relacionan con ella de alguna forma.

– *El poder de representación de los modelos.* Ello permite que los modelos funcionen no solamente como instrumentos, sino que además nos enseñen algo sobre lo que representan. O sea, que funcionen como una herramienta de investigación.

– *El aprendizaje.* El aprendizaje puede tener lugar en dos momentos del proceso: en la construcción y en la utilización del modelo. Cuando construimos un modelo, creamos un tipo de estructura representativa, desarrollamos una forma científica de pensar. Por otro lado cuando utilizamos un modelo, aprendemos sobre la situación representada por el mismo (Morrison y Morgan, 1999).

Tener en consideración estos aspectos implica que «no se debe considerar que los modelos están supeditados a las teorías y los datos en la producción del conocimiento. Junto con los instrumentos de medición, los experimen-

tos, la teoría y los datos, son un ingrediente esencial en la práctica de la ciencia» (Morrison y Morgan, 1999).

Teniendo en cuenta la importancia de los modelos y de su proceso de construcción en la ciencia y asumiendo como válidos los objetivos propuestos por Hodson (1992, 2003) para la enseñanza de ciencias que con anterioridad se han presentado, hemos elaborado argumentos que justifican el importante papel que los modelos deben desempeñar en la enseñanza de las ciencias. Según éstos, con la finalidad de:

– *Aprender ciencia*, los alumnos deben tener conocimientos sobre la naturaleza, ámbito de aplicación y limitaciones de los principales modelos científicos (ya sean estos consensuados, es decir, aceptados actualmente por la comunidad científica, o bien históricos, aquéllos que hayan sido aceptados en un determinado contexto).

– *Aprender sobre ciencias*, los alumnos deben comprender adecuadamente la naturaleza de los modelos y ser capaces de evaluar el papel de los mismos en el desarrollo y difusión de los resultados de la indagación científica.

– *Aprender a hacer ciencia*, los alumnos deben ser capaces de crear, expresar y comprobar sus propios modelos (Justi y Gilbert, 2002b).

Si tales conocimientos y destrezas se desarrollasen en situaciones en las que la enseñanza de las ciencias no estuviese desvinculada del mundo actual, los alumnos podrían también implicarse en acciones sociopolíticas. Este aspecto será discutido con posterioridad, así como otros en mayor detalle, relativos a los aprendizajes citados más arriba.

Los modelos científicos son frecuentemente complejos o bien se expresan mediante formas de representación complejas (como, por ejemplo, formulaciones matemáticas). Por ello, lo que enseñamos en las clases de ciencias son simplificaciones de estos modelos. Dichas simplificaciones son denominadas *modelos curriculares*. Es importante que distingamos, en el contexto escolar, los modelos curriculares de los modelos para la enseñanza. Estos últimos son representaciones creadas con el objetivo específico de ayudar a los alumnos a aprender algún aspecto de un modelo curricular. Los modelos para la enseñanza más comunes son dibujos, maquetas, simulaciones y analogías. Cada uno de estos tipos puede y debe ser usado de forma específica. Además de esto cada uno de ellos presenta ventajas y desventajas en diferentes contextos de enseñanza. Independientemente del tipo, los modelos para la enseñanza son muy potentes al ayudar a los alumnos a comprender los modelos curriculares, es decir, a aprender ciencia (primero de los objetivos propuestos por Hodson). A pesar de su importancia, estos modelos no se discutirán en el presente artículo, que tiene como foco de interés principal el proceso de construcción de modelos. Esto es así porque, como señalaremos enseguida, creemos que la utilización de

actividades de construcción de modelos en la enseñanza de las ciencias puede contribuir a que se alcancen todos los objetivos propuestos por Hodson (1992, 2003).

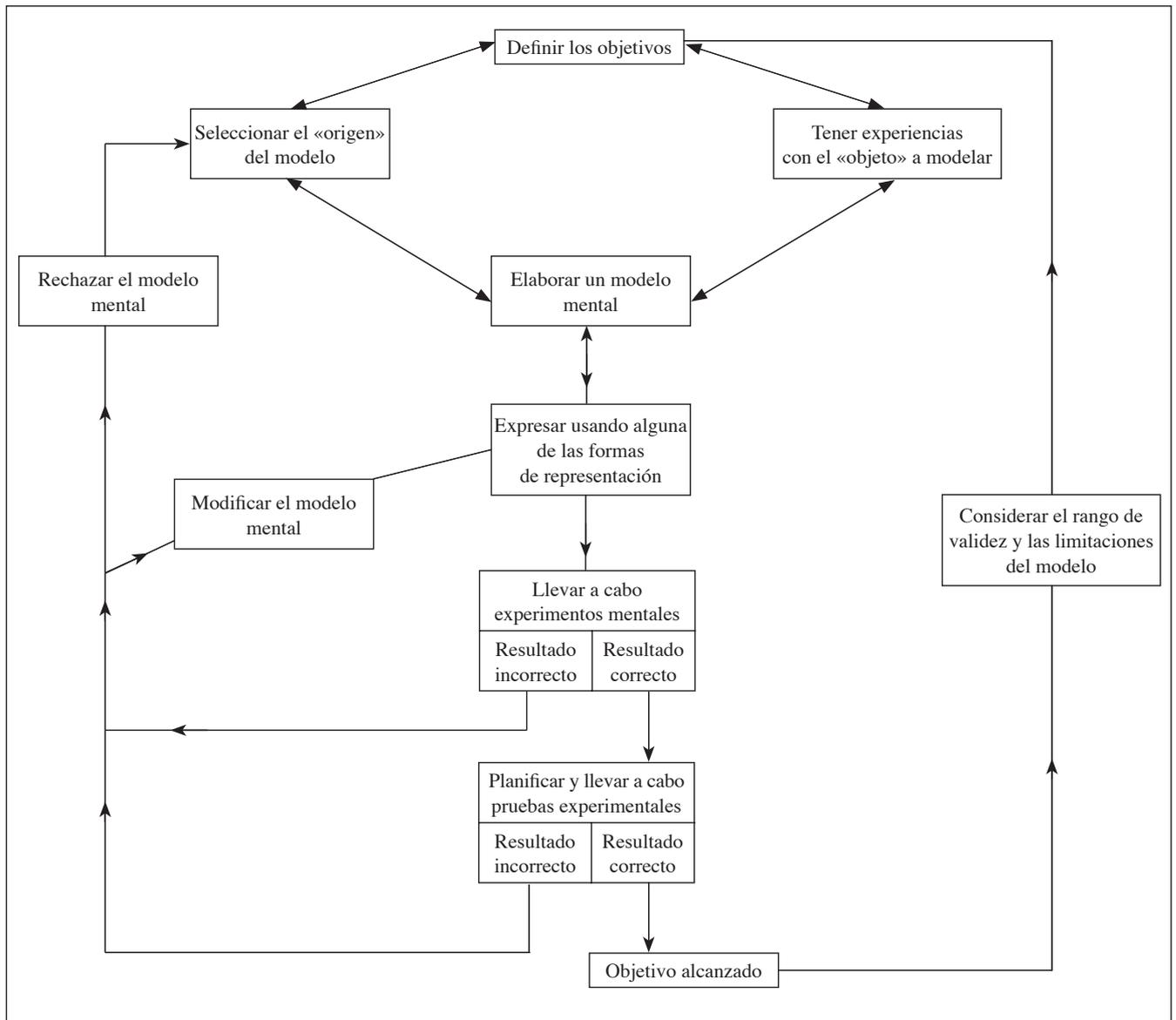
PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE MODELOS EN CIENCIAS

A partir de lo que hemos expuesto en el apartado anterior, se puede definir la ciencia como un proceso de construcción de modelos con distintas capacidades de previsión. Esta definición une los procesos (de elaboración de modelos y de utilización de los mismos como herramientas del pensamiento científico) y los productos (modelos generados por tales procesos) de la ciencia. A la vez identifica la construcción de modelos no como una etapa auxiliar sino como un aspecto fundamental en el proceso dinámico y no lineal de construcción del conocimiento científico (Del Re, 2000; Giere, 1999). Tal proceso se entiende como un tejido de conceptos y proposiciones interrelacionados que permiten describir, explicar y prever fenómenos, más que como algo independiente de las observaciones o evidencias de los mismos (Hodson, 1998).

A pesar de ser tan importante para la construcción del conocimiento científico, y de que ello ha sido reconocido muchas veces de forma explícita por los científicos –como, por ejemplo, Pauling o Watson y Crick–, los textos científicos raramente describen cómo tiene lugar la construcción de modelos. Este hecho se puede interpretar como una indicación de que no existen reglas generales para la construcción de modelos –lo que ha sido justificado por algunos en el sentido de que la capacidad de construir modelos es una destreza tácita, que debe de ser aprendida y no enseñada. Además de esto, una de las destrezas esenciales para que alguien construya un modelo es la creatividad. Por ello la construcción de un modelo puede ser considerada también como un arte (Morrison y Morgan, 1999).

Sin descuidar estos aspectos, pero analizando, por una parte, lo que los filósofos de la ciencia y educadores dicen sobre cómo el conocimiento científico se desarrolla (Lawson, 2000; Nersessian, 1992; Vosniadou, 1999) y, por otra, como el trabajo de los científicos que han contribuido significativamente a ese proceso de desarrollo, es posible extraer algunos elementos que, organizados, producen un modelo cognitivo de la ciencia (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003) –en forma de esquema– que permite discutir sobre el proceso que siguen los científicos en la construcción de modelos en general. La propuesta de este modelo cognitivo de la ciencia se apoya en esquemas más simples propuestos por Clement (1989) y trata de complementarlos introduciendo nuevos elementos y haciendo explícitas las relaciones adicionales entre todos los elementos. Este modelo se presenta en la figura 1 y tanto sus elementos como las etapas en las que los mismos intervienen se discuten seguidamente.

Figura 1
Un modelo para el proceso de construcción de modelos (Justi y Gilbert, 2002a).



En principio, es importante destacar que todos los modelos se construyen con un objetivo específico. Las personas que se encuentran inmersas en el proceso de construcción del modelo o aquéllas a las que se les presentan los resultados de tal proceso deben definir el objetivo o bien tener conocimiento del mismo (Gilbert, Boulter y Rutherford, 1998). A partir de este objetivo específico se buscan observaciones iniciales (directas o indirectas, cualitativas o cuantitativas) acerca de la entidad que está siendo modelada, es decir, experiencias que la persona ya tiene o que pasa a tener con el «objeto» a modelar. Estas experiencias pueden existir en forma de observaciones empíricas o de informaciones previamente existentes (en la estructura cognitiva del propio individuo o en fuentes externas) acerca de la entidad modelada y del contexto en el cual está inmersa. Simultáneamente a la organización

de estas experiencias en la mente del individuo, tiene lugar la selección de los aspectos de la realidad que se usarán para describir el «objeto» a modelar. Estos aspectos de la realidad pueden ser situaciones con las que parece posible establecer una analogía o bien recursos matemáticos para la situación en cuestión. El que el establecimiento de relaciones de analogía sea una de las etapas del proceso de construcción del conocimiento es algo que está ampliamente reconocido en la literatura (Gentner y Gentner, 1983; Leatherdale, 1974; Wilbers y Duit, 2006)¹. A partir de estos dos elementos –obtención y organización de experiencias y selección de una fuente adecuada–, la creatividad y el razonamiento crítico del individuo conducen a la elaboración de un modelo mental inicial. Así se caracteriza la Etapa 1 del proceso. Es ésta una etapa compleja, en la que existe una gran interactividad entre cada uno de

los elementos y que se realiza de forma distinta en cada caso. En consecuencia, no puede ser descrita de forma detallada. Con el fin de representar esta interactividad, en la figura 1 se unen mediante flechas dobles todos los elementos de esa etapa.

A partir de ahora es importante decidir cuál será la forma de representación más adecuada para el modelo: concreta, visual, verbal, matemática, computacional (Boulter y Buckley, 2000). Esta decisión se relacionará de forma cíclica con el propio desarrollo del modelo mental siempre que el proceso de expresar un modelo conlleva hacer modificaciones en el modelo mental que, a su vez, se puede expresar de diferentes formas, y así sucesivamente. Este ciclo constituye la Etapa 2.

La tercera etapa es la de comprobación del modelo propuesto. Tales comprobaciones pueden ser de dos naturalezas: mediante experimentos mentales² o mediante la planificación y realización de comprobaciones experimentales³. Esta etapa se puede caracterizar tanto porque los dos tipos de comprobación tengan lugar de forma sucesiva como por la utilización de uno solo de los tipos de comprobación. Esto dependerá, entre otros factores, del tema del modelo, de los recursos disponibles y de los conocimientos previos del individuo o grupo de individuos encargados de llevar a cabo del proceso. Además de esto, no se puede predecir nada en relación con la cantidad de comprobaciones de cada tipo y el orden de realización de las mismas⁴. En cualquiera de los casos, si el modelo falla en relación con las previsiones que sirven de apoyo a las comprobaciones, se deberá intentar hacer modificaciones en el mismo para que pueda reincorporarse al proceso. El modelo puede ser rechazado en los casos extremos en que la comprobación señala problemas más serios del mismo. Esto conlleva una reconsideración radical de los elementos de la Etapa 1 de elaboración del modelo, pero añadiéndole el conocimiento adquirido hasta el momento, que pasa ahora a formar parte de las experiencias anteriores del individuo.

Cuando un modelo tiene éxito en la Etapa 3, cumple con el propósito para el que ha sido elaborado. El individuo que lo ha elaborado está entonces convencido de su validez y su siguiente tarea consistirá en convencer a otros individuos de lo mismo. En este proceso de socialización, el individuo deberá hacer explícitos tanto el ámbito de validez del modelo como las limitaciones del mismo en relación con el objetivo que inicialmente se había definido. Estos procedimientos caracterizan la Etapa 4.

EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE MODELOS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Nuestra propuesta de fundamentar la enseñanza de ciencias en actividades de construcción de modelos parte de la importancia que damos a tratar de alcanzar los objetivos expuestos anteriormente y la importancia primordial que para el desarrollo del conocimiento científico tiene la construcción de modelos. Mientras tanto, para que sea posible llevar este proceso científico a la enseñanza de las

ciencias, se hace necesario discutir aspectos relacionados no solamente con los conocimientos y destrezas de profesores y alumnos, sino también aspectos relacionados con sus acciones cuando se ven envueltos en un proceso de enseñanza de estas características. Tales discusiones tienen su justificación en que, como señala Clement (2000), aunque algunos educadores han defendido la enseñanza mediante construcción de modelos, ésta es un área todavía muy poco comprendida. Por eso es importante que nuestra propuesta sea entendida claramente para que los profesores puedan hacer uso de ella.

La propuesta que aquí presentamos se basa en la utilización, por parte del profesor, del modelo de construcción de modelos que hemos discutido con anterioridad, en las etapas de planificación y puesta en práctica de la enseñanza. Esto no significa que se les tenga que presentar a las alumnas y alumnos el modelo para que lo utilicen como un algoritmo. Por el contrario, lo que se espera es que, a medida que los alumnos se vean inmersos en actividades planificadas bajo esta perspectiva, desarrollen también una forma de pensar que incluya por lo menos los principales elementos del modelo y que pueda ser utilizada en otras situaciones, relacionadas o no con las ciencias; esto además de aprender acerca del modelo, es decir, de aprender el modelo curricular que el profesor pretende enseñar a partir de su propias ideas.

Como ya se ha discutido con anterioridad, el modelo se ha elaborado en contextos de ciencia, o sea, como un intento de representar el modo de pensar de los científicos. Por ello es importante hacer énfasis en que el hecho de que esta propuesta defienda la transposición del modelo a la planificación y puesta en práctica de la enseñanza de las ciencias no implica que creamos que los alumnos deban pensar como científicos o que se deban convertir en científicos. Pero sí implica que creamos que la participación de los alumnos en esta propuesta tiene un gran potencial para contribuir a que aprendan de manera más participativa. Esto es porque, en el contexto de esta propuesta, los alumnos tienen la oportunidad de experimentar aspectos excitantes e interesantes de la producción del conocimiento científico, de pensar sobre los propósitos de la ciencia, de poder formular preguntas más críticas y atinadas, de proponer explicaciones y previsiones, y de evaluar el modelo propuesto para obtener informaciones que puedan ayudar en la reformulación del mismo. En otras palabras, la construcción de modelos es una actividad con mucho potencial para implicar a los alumnos en «hacer ciencia», «pensar sobre ciencias» y «desarrollar pensamiento científico y crítico». De esta forma la ciencia dejaría de ser algo que se lee en los libros para transformarse en un actividad mediante la cual los fenómenos se estudian de una forma activa. Para que esto pueda ocurrir, es esencial que la enseñanza tenga lugar en una atmósfera de cooperación participativa, con más tiempo y recursos compatibles (Justi y Gilbert, 2003). En este sentido se presentan a continuación los aspectos esenciales de la propuesta.

En principio una condición que se debe satisfacer para que la propuesta pueda ser utilizada es que los alumnos tengan una visión general sobre la naturaleza y el uso de

los modelos. Así es importante que el profesor promueva actividades que lleven a la discusión de este aspecto, para que a las alumnas y alumnos les quede claro que el significado de modelo en ciencias es diferente del significado que en la vida cotidiana se le asigna. No pretendemos que ésta sea una discusión larga o detallada, sino que, a partir de ella, los alumnos comprendan que los modelos son representaciones parciales de diferentes tipos de entidades que se construyen con una finalidad específica.

De acuerdo con lo que afirman diversos autores (Bent, 1984; Clement, 1989; Morrison y Morgan, 1999), no parece que, como consecuencia de la transmisión directa de definiciones formales o de la observación de un modelo concreto, los alumnos modifiquen sus puntos de vista sobre la naturaleza de los modelos. A fin de que los alumnos desarrollen una comprensión más amplia es necesario, tanto que se impliquen en actividades de construcción de modelos –y en las discusiones que acompañan tal proceso– como que aprendan acerca de cómo y por qué algunos modelos científicos se han elaborado (Erduran, 2001; Gilbert, 1997; Halloun, 1996; Mayer, 1989) –lo cual puede también formar parte de estas discusiones. De esta manera, aun reconociendo que es muy probable que la comprensión de los alumnos sea bastante simple al principio y que se deba ampliar durante la enseñanza, defendemos la pertinencia de que tenga lugar una discusión inicial a fin de que, por lo menos, se obliguen a pensar acerca de esta cuestión y se puedan poner a su disposición elementos que deberán emplear cuando se les pida que elaboren un modelo.

En una situación de aula normal, la responsabilidad de iniciar el proceso de construcción de modelos recae en el profesor. Es él quien debe escoger el momento en que se debe introducir tal actividad durante el proceso de enseñanza, es decir, qué modelo deberán elaborar los alumnos y con qué objetivo(s). Es muy importante comunicarles de forma bien clara las definiciones a los alumnos, a fin de evitar que no entiendan algún aspecto de la actividad. Tanto para definir qué deben modelar los alumnos como para establecer una comunicación clara con ellos, es fundamental que el profesor conozca su nivel de conocimientos. Así el profesor podrá: juzgar si los modelos manejados con anterioridad por los alumnos son adecuados como punto de partida para la construcción del modelo actual; prever problemas que puedan tener en la comprensión y puesta en práctica de la actividad; y elaborar preguntas que les ayuden a pensar de forma crítica acerca del modelo (Ferreira y Justi, 2005a).

Si reflexionamos acerca de la motivación de los alumnos para implicarse en esta actividad, parece obvio que pedirles de forma aislada que elaboren un determinado modelo no surtirá mucho efecto. Es muy importante que la petición de elaborar un modelo tenga sentido para ellos, es decir, que esté contextualizada en el proceso de enseñanza y que sea entendido por los alumnos.

Para que los alumnos puedan empezar a elaborar el modelo, es preciso que tengan algún tipo de experiencia con el «objeto» a modelar. Como se ha mencionado con anterioridad, tales experiencias pueden ser informaciones

previamente existentes o bien adquiridas en el momento. Las informaciones que existen previamente son tanto los propios conceptos como las relaciones que existen entre éstos y que ya forman parte de la estructura cognitiva del alumno. Ambos pueden provenir de situaciones cotidianas o de situaciones escolares anteriores. Por otro lado, las informaciones adquiridas en el momento de empezar a elaborar el modelo pueden tener dos orígenes distintos: material bibliográfico (verbal o visual) a consultar por parte de los alumnos (que el profesor puede poner o no a su disposición, dependiendo de los objetivos que tenga en relación con la actividad) y observaciones empíricas. Estas últimas a su vez pueden tener origen en situaciones cotidianas o en experiencias de aula (hechas por el profesor o por los alumnos). La realización de actividades experimentales como fuentes de información para los alumnos se hace particularmente relevante en aquellas situaciones en las que se les pide que elaboren modelos de entidades abstractas o de fenómenos que incluyen tales entidades, que no se manifiestan en situaciones cotidianas. Esto es bastante común en química, donde los modelos que explican los procesos hacen uso de entidades del mundo atómico. En tales casos, las pruebas de propiedades o comportamientos de esas entidades, que se pueden observar en la actividad experimental, pueden ser fuentes de información importante acerca del fenómeno en cuestión. No se debe tomar lo que estamos diciendo como una afirmación hecha desde una perspectiva empirista ingenua –perspectiva en la cual se defiende que el conocimiento se origina a partir de observaciones neutras, de las que se extraen patrones que a su vez darán lugar a explicaciones–, sino que debemos considerar que tales informaciones sirven de base para un proceso intelectual en el cual se elaboran las explicaciones (Millar, 1998).

Es importante señalar que tanto en esta etapa inicial como en otras etapas, que mencionaremos en esta propuesta, las actividades experimentales no pueden ser de tipo ilustrativo⁵. En este tipo de actividades los alumnos siguen una receta que los conduce a una respuesta correcta y muy raramente desarrollan una actividad cognitiva. Por el contrario, las actividades experimentales deben ser de naturaleza investigadora, es decir, deben proporcionar a los estudiantes la oportunidad de pensar, de utilizar sus conocimientos previos y destrezas en la solución de problemas de los que no tienen una respuesta evidente para ellos (Duggan y Gott, 1995). En el contexto de nuestra propuesta, la experimentación no se debe usar solamente para la recolección de datos y su interpretación de forma directa, sino para ayudar en la elaboración, evaluación y revisión de los modelos. Ésta es una práctica que debe ser promovida por el profesor –tanto con relación al tipo de preguntas que hace para que los alumnos piensen en la actividad experimental como a la actitud con que favorece e incentiva que los alumnos piensen durante dicha actividad.

Como se representa en la figura 1 –a la vez que el elemento «tener experiencias con el “objeto” a modelar»– tiene lugar la «selección del “origen” del modelo». En dicha selección tiene especial importancia el establecimiento de relaciones de analogía con otros elementos.

Este proceso puede tener lugar de forma espontánea, como parte integrante del razonamiento del alumno o bien promovido por el profesor mediante preguntas que lo lleven a percibir qué analogías pueden traspasar el proceso de representación de sus ideas. Por tanto, es importante que los alumnos entiendan que una analogía es una comparación entre dos dominios y que, como tal, adolece de limitaciones. Por esto debe, el profesor, permanecer atento a cómo utilizan las analogías sus alumnos cuando construyen modelos. De esta manera puede discutir con ellos situaciones que podrían conducir a problemas derivados de utilizar elementos inadecuados de un dominio en otro.

El proceso creativo y dinámico de interacción entre elementos de la Etapa 1 de construcción de modelos da como resultado un modelo mental que se debe expresar mediante alguna forma de representación (Etapa 2). En el aula, el profesor puede: *a)* dejar a cargo de los alumnos la decisión de qué forma de representación utilizar; *b)* hacer que los alumnos adopten una única forma de representación; o *c)* poner a disposición de los alumnos diversos recursos y animarles a escoger aquéllos que favorecen la comunicación de sus ideas. Dependiendo del contexto, las tres posibilidades pueden presentar ventajas o desventajas. Tanto *a* como en *c*, los alumnos tienen que valorar diferentes formas de representación y escoger la más adecuada teniendo en cuenta criterios propios (que el contenido del modelo puede definir) y de su creatividad. Ésta es una destreza a mayores que los alumnos deben desarrollar durante el proceso. La opción *a* sólo la podrán utilizar los alumnos cuando estén familiarizados con distintas formas de expresión o bien cuando tengan tiempo fuera del aula para reunir los recursos necesarios. En tal caso se planificará el modelo en el aula, pero será construido después. Por otro lado, la opción *c* favorece que tengan lugar de forma secuencial o simultánea las etapas 1 y 2. De ello resulta un mayor dinamismo en el proceso ya que, una vez que el alumno ha expresado el modelo, puede modificarlo. Finalmente, en el caso *b*, en el cual el profesor ha determinado la forma de expresión, será preciso que justifique por qué se ha utilizado tal forma de expresión, a fin de que los alumnos no se queden con la idea de que un modelo sólo se puede expresar de una única forma, o bien que la presentada por el profesor es la forma «correcta» de expresar el modelo.

En el aula, estas etapas tienen lugar en tres niveles diferentes. Inicialmente cada alumno, de forma individual, elabora su modelo mental y lo comunica a los compañeros del grupo. El proceso de elaboración individual del modelo mental de cada alumno no es accesible ni para el profesor ni para los compañeros de grupo. Este proceso depende de cómo cada alumno experimenta la Etapa 1. Tan pronto como comienzan las discusiones entre los miembros, empezará también un proceso de construcción de un modelo consensuado por todo el grupo. Durante estos momentos, los modelos expresados por cada alumno, sus similitudes y contradicciones, interactuarán de forma dinámica. El profesor puede hacer contribuciones en esta fase si interactúa con cada grupo por separado. Durante la interacción, el profesor deberá actuar como *moderador* (Halloun, 2004), es decir, escuchando

las ideas y favoreciendo la contrastación de aquellas que no sean comprendidas por el grupo, o bien favoreciendo la discusión de elementos de sus ideas a partir de preguntas que ayuden al razonamiento de las y los alumnos. Es importante que el profesor no introduzca muchos elementos nuevos en las discusiones iniciales de cada grupo, a fin de que la diversidad de ideas de los alumnos se vea representada en los distintos modelos aportados por todos los grupos. Finalmente el tercer nivel tiene lugar cuando cada grupo comunica su modelo al resto de compañeros del aula. Cuando esto ocurre, se observa una gran interacción entre alumnos al intentar defender sus modelos y a la vez comenzar a reformularlos (Ferreira y Justi, 2005b; Mendonça y Justi, 2005). La actuación del profesor será diferente pues es necesario:

- Favorecer la discusión acerca de los códigos de representación utilizados por cada grupo. Esto puede ayudar a que los alumnos comprendan la importancia de escoger la forma de expresión adecuada para sus modelos, y a la vez favorecer la comprensión de cada modelo por parte del resto del aula.

- Favorecer la negociación de ideas entre alumnos, creando las condiciones necesarias para que las ideas interesantes se desarrollen (Halloun, 2004). Esto se puede hacer, por ejemplo, mediante la aceptación de una determinada idea, la introducción de preguntas sobre tal idea o mediante el refuerzo positivo a las preguntas presentadas por otros alumnos.

- Favorecer situaciones en las que las y los alumnos prueben sus modelos. Se puede provocar haciendo explícito el estado de desequilibrio cognitivo que experimentan aquellos alumnos cuyos modelos presentan incoherencias. De esta forma los alumnos tratarán de solventar tales aspectos incoherentes. La proposición de *preguntas generadoras* –aquéllas que, por ser nuevas para los alumnos, no se pueden responder apelando a informaciones acumuladas, que para ser respondidas precisan la creación de una representación mental de la entidad modelada– puede ayudar, puesto que promueve el desarrollo de las ideas de los alumnos acerca de sus modelos en otros contextos o, simplemente, hace evidente el problema en cuestión a aquellos alumnos que todavía no lo hayan percibido (Vosniadou, 1999).

En caso de que la introducción de estas cuestiones no surta el efecto deseado, el profesor puede iniciar la etapa de comprobación de los modelos (Etapa 3). Para ello presentará situaciones o datos, empíricos o no, que contrasten con –o que no puedan ser totalmente explicados– los modelos iniciales producidos por los alumnos. En caso de utilizar situaciones empíricas, ésta puede ser una buena oportunidad para mostrar a los alumnos que un experimento no es solamente una actividad de tipo «seguir la receta», sino una actividad esencial mediante la cual los modelos se elaboran y evalúan (Erduran, 2001). Por otro lado, la introducción de experimentos mentales –ya sea por parte del profesor, ya por parte de los propios alumnos– puede favorecer que comprendan que la actividad cognitiva es la fundamental en el desarrollo del conocimiento científico.

En el contexto escolar, la Etapa 3 tiene lugar en dos fases: en los grupos y en el conjunto de todos los alumnos del aula. De nuevo el profesor puede participar en las discusiones de los grupos al igual que en el momento anterior, es decir, favoreciendo el desarrollo del razonamiento de los alumnos. Con posterioridad a que los grupos hayan reformulado sus modelos, o bien propuesto otros nuevos, será importante que tenga lugar un nuevo momento de socialización de los mismos. Mediante la discusión y reconocimiento de la validez –total o parcial– de los modelos producidos por sus compañeros, los alumnos pueden entender que es posible la existencia de múltiples modelos para una misma situación. Además de eso, éste puede ser el momento para elaborar un modelo consensuado por todos los integrantes del aula. Por ello es importante que el profesor dirija la discusión sin juzgar los modelos como correctos o erróneos, pero sí haciendo énfasis en la capacidad de los elementos de cada modelo para explicar y predecir.

Puede ocurrir que en esta etapa ninguno de los modelos presentados por los grupos contenga elementos del modelo curricular que el profesor espera que los alumnos aprendan. En tal caso, como ha señalado Halloun (2004), es esencial que el profesor no imponga el punto de vista científico de una forma autoritaria –lo que significaría una gran incoherencia para esta perspectiva de enseñanza– sino que debe ser presentada como una alternativa más para analizar –al igual que lo habrán sido todos los modelos propuestos por los alumnos.

Al finalizar esta etapa de discusiones se espera que exista uno o unos pocos modelos consensuados en el aula. Así se puede pasar a la Etapa 4, en la que se deben presentar preguntas que conduzcan a que los alumnos evalúen el rango de validez y las limitaciones de los modelos consensuados. No parece probable que varios modelos adquieran el mismo rango en este análisis, es decir, que satisfagan todos los objetivos previamente definidos. Por otra parte, parece razonable suponer que el modelo consensuado final que el aula haya producido contenga a la vez, elementos de los modelos elaborados y reformulados por los alumnos y elementos esenciales del modelo curricular que se desea. De cualquier forma la Etapa 4 es importante para hacer énfasis en que los modelos son susceptibles de sufrir modificaciones.

LO QUE LOS ALUMNOS APRENDEN: EJEMPLOS DE UTILIZACIÓN DE LA PROPUESTA EN EL AULA

Hasta el momento han sido objeto de investigación dos intervenciones en el aula planificadas y llevadas a cabo bajo la perspectiva aquí presentada (Ferreira y Justi, 2005b; Mendonça y Justi, 2005). En ambos casos las cuestiones que se han investigado tienen relación con el aprendizaje de los alumnos, con la extensión en que esta perspectiva de enseñanza favoreció el aprendizaje de cada uno de los aspectos discutidos al principio de este artículo. En ambos casos también, se realizaron las investigaciones en situaciones habituales de enseñanza y por las propias profesoras. De forma resumida los principales resultados obtenidos han sido:

– Los alumnos parecen haber desarrollado una comprensión bastante amplia de los temas de química de cada una de las intervenciones (equilibrio químico y enlace iónico respectivamente). Esto se ha puesto de manifiesto: *a)* mediante tests realizados con posterioridad a los procesos de enseñanza, en los cuales la frecuencia de las concepciones erróneas que la bibliografía manejada menciona ha sido extremadamente pequeña entre los alumnos; y *b)* a lo largo del proceso, puesto que las y los alumnos fueron capaces de proponer explicaciones pertinentes y formular preguntas bien elaboradas sobre aspectos esenciales de cada uno de los temas y sobre sus aplicaciones en situaciones cotidianas. Este último aspecto merece ser destacado porque de forma tradicional al alumno se le pide solamente que dé respuestas correctas, y no se le pide que desarrolle la destreza de formular preguntas adecuadas y relacionadas con otros contextos. Además de esto, el análisis de las discusiones que tuvieron lugar en pequeño grupo y en gran grupo mostró que los alumnos trataron de establecer relaciones entre los conceptos discutidos así como con conceptos de otras áreas (principalmente la física). Los resultados también mostraron que el aprendizaje no tuvo lugar únicamente en los momentos de observación sino a lo largo del proceso de enseñanza, que en ambos casos tuvo una duración de varias semanas⁶.

– La mayoría de los alumnos demostró haber desarrollado una comprensión adecuada acerca de la naturaleza y utilización de modelos, así como acerca de la importancia del proceso de elaboración de modelos en la construcción del conocimiento científico. Esto se puso de manifiesto en momentos concretos de las distintas discusiones que tuvieron lugar en cada caso, por las actitudes de los alumnos durante su implicación en las diversas etapas del proceso y por las reflexiones de los mismos cuando se les preguntó sobre estos temas.

– Los alumnos se implicaron bastante en todas las etapas del proceso, principalmente en aquéllas resultantes de la introducción de preguntas generadoras bastante sugerentes (como, por ejemplo, las relacionadas con la explicación de la coexistencia, observada experimentalmente, de reactivos y productos en un mismo sistema, en el caso del equilibrio químico) y en los momentos en que defendían aquellos aspectos de sus modelos que diferían de los presentados por sus compañeros. En tales momentos demostraron que estaban utilizando un razonamiento creativo pero coherente con sus ideas previas, con las pruebas e informaciones a las que tuvieron acceso y con las ideas discutidas en pequeño grupo y en gran grupo. A resultas de ello, la mayor parte de los alumnos fue capaz de elaborar y reformular sus modelos⁷.

Estos datos apoyan la conclusión de que la estrategia de enseñanza utilizada favoreció que los alumnos aprendieran. Es además importante señalar que la acción docente de los profesores contribuyó de forma decisiva a que esto ocurriese. En particular contribuyó, a que los alumnos se implicasen cognitivamente y emocionalmente en las actividades, el hecho de que los profesores promoviesen situaciones que favorecían la participación responsable de cada alumno, en las cuales el ambiente fuese de respeto por las ideas de los demás. Éste es un aspecto que consideramos fundamental para que tenga lugar el aprendizaje

de ciencias y de destrezas como el reconocimiento de contradicciones, incoherencias y similitudes entre diferentes ideas; el análisis crítico de las ideas de los demás; la capacidad de aceptar y valorar las críticas –que son esenciales para que los alumnos sean capaces de desenvolverse como ciudadanos en la sociedad actual.

Además de esto, los profesores tenían un completo dominio de la estrategia de enseñanza –por haberla planificado–: siguiendo la metodología que hemos discutido, fueron capaces de controlar el desarrollo de los modelos, de las formas de razonamiento y de las destrezas de los alumnos. Esto fue algo esencial para tomar decisiones acerca de la introducción de preguntas de distinta naturaleza y sobre el ritmo de desarrollo del proceso.

CONSIDERACIONES FINALES

Si consideramos que las ideas iniciales de los alumnos son distintas y que sus procesos de razonamiento son personales y posiblemente diferentes para cada uno de ellos, no se puede esperar que una única perspectiva de enseñanza sea totalmente efectiva en el sentido de que todos desarrollen el mismo modelo y de la misma forma (Halloun, 2004). Sin embargo, si consideramos el aprendizaje como un enriquecimiento de la estructura cognitiva y emocional del individuo, podemos entonces concluir, teniendo en cuenta los resultados de los que disponemos, que la estrategia de enseñanza que hemos propuesto ha contribuido al aprendizaje de los alumnos en las intervenciones investigadas. Por ello la propuesta de enseñanza que hemos presentado, así como las investigaciones que en ella se apoyan, se unen a otras que defienden que la enseñanza de ciencias se debe fundamentar en modelos y en el proceso de construcción de modelos (Barab, Hay, Barnett y Keating, 2000; Halloun, 2004) al poner de manifiesto que el aprendizaje es un proceso gradual y no lineal de modificación de ideas, y la construcción de modelos constituye los cimientos del mismo.

Los resultados que se han obtenido en las investigaciones en que la propuesta fue llevada al aula han apoyado algunas reflexiones sobre el proceso y al mismo tiempo han hecho aparecer nuevas preguntas que serán objeto de estudio en futuras investigaciones. Creemos que es importante, en particular, analizar con más detalle algunos elementos que influyen en el desarrollo de cada una de las etapas del proceso, como, por ejemplo, la utilización de analogías o qué características de las actividades experimentales pueden favorecer la implicación del alumno en el proceso. Además de esto, las indagaciones que hemos realizado hasta ahora han sido en clases de química y con alumnos de enseñanza media (15 a 17 años). Para que podamos discutir más en profundidad sobre la influencia de esta estrategia en el aprendizaje de las ciencias, debemos llevar a cabo investigaciones en clases de física y de biología de enseñanzas medias, pero también en clases de ciencias de enseñanza primaria (alumnos más jóvenes). Es igualmente importante investigar la acción docente de los profesores en la planificación y puesta en práctica del proceso, a fin de que se puedan

extraer ideas para la formación de los mismos. Creemos que este programa de investigación –que por ahora está en fase inicial– podrá aportar otras implicaciones relevantes para la práctica y la investigación en el área.

NOTAS

* Ponencia presentada en el VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias (Granada, 7 al 10 de septiembre de 2005). Ha sido traducida del portugués por Víctor M. Álvarez.

¹ Se puede encontrar en Justi e Gilbert (2006) una discusión más detallada acerca de cómo influyen las analogías en el proceso de construcción de modelos.

² Los experimentos mentales son procesos del razonamiento que se basan en «resultados» de un experimento llevado a cabo en el ámbito del pensamiento. Se idean con la intención de comprobar o convencer a otros de la validez de una hipótesis. Para ello el individuo elabora una pregunta del tipo «¿Qué pasaría si?». Para dar respuesta a esto, necesita imaginar un mundo en el cual tenga lugar realmente la situación descrita por «¿Qué pasaría si?» y a continuación examinar los resultados e implicaciones de tal pregunta. Los resultados pueden tanto apoyar como debilitar la hipótesis que se está comprobando. Es por ello que los experimentos mentales se pueden considerar como una forma específica de simulación (Nersessian, 1999). La situación «¿Qué pasaría si?» puede ser de dos tipos: un experimento que, pudiendo haber sido realizado en laboratorio, sólo se ejecuta mentalmente por diversas razones, o bien un experimento que da cuenta de una situación realmente imaginaria y que no podría, de ningún modo, ser realizado en el laboratorio (Reiner y Gilbert, 2000).

³ Caracterizados por actividades prácticas, seguidas de recogida y análisis de datos y por la evaluación de los resultados obtenidos en relación con las previsiones derivadas del modelo.

⁴ En la figura 1, los experimentos mentales preceden a las pruebas experimentales por dos motivos: *a*) primero, porque, en las situaciones en que es posible, los científicos realizan experimentos mentales antes de llevar a cabo pruebas experimentales (incluso como forma de planificar mejor las pruebas experimentales, que pueden ocasionar grandes gastos; *b*) segundo, para facilitar la representación gráfica de estos elementos así como sus relaciones con otros en el diagrama.

⁵ Práctica bastante frecuente en la enseñanza de tipo tradicional, que tiene como principal objetivo mostrar fenómenos, ilustrarlos con ejemplos, probar algo sobre ellos o bien demostrar alguna ley científica, es decir, reafirmar cualquier aspecto que se haya enseñado antes en las clases teóricas (Duggan y Gott, 1995). Desde este punto de vista, el trabajo práctico se presenta como un proceso simple y evidente, que no produce problemas para explicar el mundo material en términos de un conocimiento verdadero (Leach, 1998).

⁶ Asumiendo que el aprendizaje de un determinado tema no termina en el momento de enseñarlo por primera vez, sino que posteriores discusiones acerca del mismo o de otros temas relacionados pueden influir, creemos que el proceso no se ha agotado al terminar la investigación. Sin embargo, como los datos de los que disponemos se han recogido durante el tiempo asignado a la investigación, nuestras afirmaciones se hacen en relación con dicho tiempo.

⁷ Por el momento no hemos investigado hasta qué punto los alumnos serían capaces de trasponer tal destreza al aprendizaje de otros temas. Con todo, algunas observaciones informales de una de las profesoras relacionadas con la investigación apuntan en esta dirección.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARAB, S.A., HAY, K.E., BARNETT, M. y KEATING, T. (2000). Virtual Solar System Project: Building Understanding through Model Building. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(7), pp. 719-756.
- BENT, H.A. (1984). Uses (and abuses) of models in teaching chemistry. *Journal of Chemical Education*, 61, pp. 774-777.
- BOULTER, C.J. y BUCKLEY, B.C. (2000). Constructing a Typology of Models for Science Education, en Gilbert, J. K. y Boulter, C. J. (eds.). *Developing Models in Science Education*, pp. 41-57. Dordrecht: Kluwer.
- CLEMENT, J. (1989). Learning via Model Construction and Criticism - Protocol evidence on sources of creativity in science, en Glover, J.A., Ronning, R.R. y Reynolds, C.R. (eds.). *Handbook of Creativity*, pp. 341-381. Nueva York: Plenum.
- CLEMENT, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 1041-1053.
- DEL RE, G. (2000). Models and analogies in science. *HYLE*, 6, pp. 3-12.
- DRIVER, R., SQUIRES, A., RUSHWORTH, P. y WOOD-ROBINSON, V. (1994). *Making sense of secondary science - Research into children's ideas*. Londres y Nueva York: Routledge.
- DUGGAN, S. y GOTT, R. (1995). The place of investigations in practical work in the UK National Curriculum for Science. *International Journal of Science Education*, 17(2), pp. 137-147.
- DUIT, R. y TREAGUST, D.F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), pp. 671-688.
- ERDURAN, S. (1998). *Modeling in chemistry as cultural practice: a theoretical framework with implications for chemistry education*. Comunicación presentada en Annual Meeting of the American Educational Research Association. San Diego.
- ERDURAN, S. (2001). Philosophy of Chemistry: An emerging field with implications for chemistry education. *Science y Education*, 10(6), pp. 581-593.
- EYLON, B. y LINN, M. (1988). Learning and instruction: an examination of four research perspectives in science education. *Review of Educational Research*, 58, pp. 251-301.
- FENSHAM, P.J. (2001). Science content as problematic - Issues for research, en Behrendt, H., Dahncke, H., Duit, R., Gräber, W., Komorek, M., Kross, A. y Reiska, P. (eds.). *Research in science education - Past, present, and future*, pp. 27-41. Dordrecht: Kluwer.
- FERREIRA, P.F.M. y JUSTI, R. (2005a). *Atividades de construção de modelos e ações envolvidas*. Comunicación presentada en V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Bauru, SP.
- FERREIRA, P.F.M. y JUSTI, R. (2005b). *From chemical reaction to chemical equilibrium: learning through modelling*. Comunicación presentada en V Conference of the European Science Education Research Association. Barcelona.
- FRANCOEUR, E. (1997). The forgotten tool: the design and use of molecular models. *Social Studies of Science*, 27, pp. 7-40.
- GENTNER, D. y GENTNER, D.R. (1983). Flowing waters and teeming crowds: mental models of electricity, en Gentner, D. y Stevens, A.L. (eds.). *Mental Models*, pp. 99-129. Hillsdale, NY: Erlbaum.
- GIERE, R.N. (1999). Using Models to Represent Reality, en Magnani, L., Nersessian, N.J. y Thagard, P. (eds.). *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*, pp. 41-57. Nueva York: Kluwer and Plenum Publishers.
- GILBERT, J.K. (1993). *Models y Modelling in science education*. Hatfield: The Association for Science Education.
- GILBERT, J.K. (1997). Models in science and science education, en Gilbert, J.K. (ed.). *Exploring models and modelling in science and technology education: contributions from the MISTRE Group*, pp. 5-19. Reading, UK: Faculty of Education and Community Studies, The University of Reading.
- GILBERT, J.K. y BOULTER, C.J. (1995). *Stretching models too far*. Comunicación presentada en Annual Meeting of the American Educational Research Association. San Francisco.
- GILBERT, J.K., BOULTER, C.J. y ELMER, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education, en Gilbert, J.K. y Boulter, C.J. (eds.). *Developing Models in Science Education*, pp. 3-17. Dordrecht: Kluwer.
- GILBERT, J.K., BOULTER, C.J. y RUTHERFORD, M. (1998). Models in explanations, Part I: horses for courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), pp. 83-97.
- GILBERT, J.K., OSBORNE, R.J. y FENSHAM, P.J. (1982). Children's science and its implications for teaching. *Science Education*, 66, pp. 625-633.
- HALLOUN, I. A. (1996). Schematic modelling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), pp. 1019-1041.
- HALLOUN, I. A. (2004). *Modeling Theory in Science Education*. Dordrecht: Kluwer.
- HODSON, D. (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), pp. 541-562.
- HODSON, D. (1998). *Teaching and Learning Science - Towards a Personalized Approach*. Buckingham and Philadelphia: Open University Press.
- HODSON, D. (2003). Time for action: science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25(6), pp. 645-670.
- IZQUIERDO, M. y ADÚRIZ-BRAVO, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science y Education*, 12(1), pp. 27-43.

- JUSTI, R. y GILBERT, J.K. (2002a). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), pp. 369-387.
- JUSTI, R. y GILBERT, J.K. (2002b). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(12), pp. 1273-1292.
- JUSTI, R. y GILBERT, J.K. (2003). Models and Modelling in Chemical Education, en Gilbert, J.K., Jong, O.D., Justi, R., Treagust, D.F. y V. Driel, J.H. (eds.). *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, pp. 47-68. Dordrecht: Kluwer.
- JUSTI, R. y GILBERT, J.K. (2006). The Role of Analogue Models in the Understanding of the Nature of Models in Chemistry, en Aubusson, P., Harrison, A. y Ritchie, S.M. (eds.). *Metaphor and Analogy in Science Education*, pp. 119-130. Dordrecht: Springer.
- LAWSON, A.E. (2000). How Do Human Acquire Knowledge? And What Does That Imply About the Nature of Knowledge? *Science y Education*, 9(6), pp. 577-598.
- LEACH, J. (1998). Teaching about the World of Science in the Laboratory - The influence of students' ideas, en Wellington, J. (ed.). *Practical Work in School Science: Which way now?*, pp. 52-68. Londres y Nueva York: Routledge.
- LEATHERDALE, W.H. (1974). *The Role of Analogy, Model and Metaphor in Science*. Amsterdam: North-Holland.
- MAINZER, K. (1999). Computational models and virtual reality - New perspectives of research in chemistry. *HYLE*, 5, pp. 117-126.
- MAYER, R. E. (1989). Models for understanding. *Review of Educational Research*, 59(1), pp. 43-64.
- MENDONÇA, P.C.C. y JUSTI, R. (2005). *Construção de Modelos no Ensino de Ligação Iônica*. Comunicación presentada en V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Bauru, SP.
- MILLAR, R. (1998). Rhetoric and Reality - What practical work in science education is really for?, en Wellington, J. (ed.). *Practical work in school science: Which way now?*, pp. 16-31. Londres y Nueva York: Routledge.
- MILLAR, R. y OSBORNE, J. (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. Londres: King's College, London School of Education.
- MORRISON, M. y MORGAN, M. S. (1999). Models as mediating instruments, en Morgan, M.S. y Morrison, M. (eds.). *Models as mediators*, pp. 10-37. Cambridge: Cambridge University Press.
- NERSESSIAN, N.J. (1992). How do Scientists Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science, en Giere, R.N. (ed.). *Cognitive Models of Science*, pp. 3-44. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- NERSESSIAN, N.J. (1999). Model-Based Reasoning in Conceptual Change, en Magnani, L., Nersessian, N.J. y Thagard, P. (eds.). *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*, pp. 5-22. Nueva York: Kluwer and Plenum Publishers.
- REINER, M. y GILBERT, J.K. (2000). Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *International Journal of Science Education*, 22(5), pp. 489-506.
- ROUSE, W.B. y MORRIS, N.M. (1986). On looking into the black box: prospects and limits in the search for mental models. *Psychological Bulletin*, 100, pp. 349-363.
- TOMASI, J. (1988). Models and modeling in theoretical chemistry. *Journal of Molecular Structure (Theochem)*, 179, pp. 273-292.
- TREAGUST, D.F., DUIT, R. y FRASER, B. J. (1996). Overview: Research on Students' Preinstructional Conceptions - The Driving Force for Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics, en Treagust, D.F., Duit, R. y Fraser, B.J. (eds.). *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics*, pp. 1-14. Nueva York y Londres: Teachers College, Columbia University.
- VOSNIADOU, S. (1999). Mental Models in Conceptual Development, en Magnani, L., Nersessian, N.J. y Thagard, P. (eds.). *Model-based Reasoning in Scientific Discovery*, pp. 353-368. Nueva York: Kluwer and Plenum Publishers.
- VOSNIADOU, S. y IOANNIDES, C. (1998). From conceptual change to science education: a psychological point of view. *International Journal of Science Education*, 20, pp. 1213-1230.
- WILBERS, J. y DUIT, R. (2006). Post-festum and Heuristic Analogies, en Aubusson, P., Harrison, A. y Ritchie, S.M. (eds.). *The Role of Analogue Models in the Understanding of the Nature of Models in Chemistry*, pp. 37-49. Dordrecht: Springer.