CONTRIBUCIÓN DEL APRENDIZAJE CON ANALOGÍAS AL PENSAMIENTO MODELIZADOR DE LOS ALUMNOS EN CIENCIAS: MARCO TEÓRICO

Oliva-Martínez, José María[1,2] y Aragón-Méndez, María del Mar[3]
[1] Departamento de Didáctica. Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Cádiz. España
[2] Instituto de Educación Secundaria Fuerte de Cortadura. Cádiz. España
[3] Instituto de Educación Secundaria Drago. Cádiz. España
josemaria.oliva@uca.es
mmaragon@hotmail.com

Resumen. En este trabajo se revisa, en primer lugar, el estatus de los modelos en la ciencia y en la enseñanza de las ciencias, destacando su papel central en el proceso de construcción de conocimientos científicos. En segundo lugar, se analiza la naturaleza y el papel de las analogías como herramientas de acercamiento de los alumnos a los modelos empleados como referente del aprendizaje escolar. Finalmente, se discute la utilidad de las analogías como instrumento dirigido a favorecer también procedimientos, actitudes y compromisos epistemológicos relacionados con los procesos de modelización científica, contribuyendo así a un desarrollo integral del pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias.

Palabras clave. Analogías, modelización, modelos en ciencias, pensamiento modelizador.

Contribution of learning with analogies to the modeling thought of science students

Summary. In this paper the role of models in both science and science education, is revised, remarking their central role in the construction process of scientific knowledge. Later, the nature and function of the analogies in science education, are analyzed. Finally, in order to improve procedural knowledge, attitudes and epistemologic commitments related to modeling processes, the use of analogies is also pointed out. From this point of view, the analogies could contribute to developing the modeling thought of the students.

Keywords. Analogies, modelling, models in science, modelling thought.

INTRODUCCIÓN

Los modelos ocupan un lugar central en el currículo de ciencias. Éste suele estructurarse adoptando los modelos como eje vertebrador del repertorio de finalidades, contenidos y criterios de evaluación de la enseñanza. De hecho, suele considerarse importante que los alumnos aprendan modelos, sepan cómo usarlos y desarrollen las dotes imaginativas que se necesitan para ser capaces de (re)construirlos.

Desde nuestro punto de vista, muchas de las capacidades que se exigen para ello podrían ser desarrolladas a partir de un uso apropiado de las analogías en la clase de ciencias. Ésta es la hipótesis central que orienta el desarrollo de este artículo, el cual se dirige a analizar y fundamentar la posible contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias.

LA IMPORTANCIA DE LOS MODELOS Y DEL PENSAMIENTO MODELIZADOR

Los modelos juegan un papel fundamental en la ciencia, en el currículo de ciencias y en el aprendizaje de los alumnos.

De una parte, desempeñan una función esencial en la estructura y evolución de la ciencia y son parte integral del pensamiento y funcionamiento científico (Halloun, 1996; Gilbert, Boulter y Rutherford, 1998; Nersessian, 1999). En este sentido, podemos considerar las ciencias como grandes constructoras y manipuladoras de modelos (Martinand, 1986), suponiendo para el científico el instrumento que le permite representar sus teorías, para cuya labor puede servirse de diferentes lenguajes, como el matemático, el conceptual, el gráfico, el analógico, etc. (Giere, 1999).

Para la mayor parte de autores los modelos son instrumentos mediadores entre la realidad y la teoría (Morrison y Morgan, 1999), pudiéndose considerar, junto con las hipótesis y los fenómenos que explica, la base de las teorías científicas (Giere, 1990). En esencia, constituyen representaciones simplificadas de los sistemas físicos con los que se trabaja y en los que se concentra la atención solamente sobre aspectos específicos de los mismos (Ingham y Gilbert, 1991; Giere, 1999). Harrison y Treagust (2000a) señalan que modelar es la esencia de pensar y trabajar científicamente, y Gilbert (1993) afirma que la ciencia y sus modelos son inseparables, porque los modelos son los productos de la ciencia y, a la vez, sus métodos y herramientas de trabajo. De hecho, los modelos pueden considerarse como las unidades básicas del razonamiento del científico, permitiendo a éste comprender la situación que está investigando, y en ocasiones, incluso, adelantarse a los hechos manipulando mentalmente los mismos para averiguar su comportamiento sin necesidad de recurrir a un experimento real (Nersessian, 1999).

En este marco, la tarea de modelización o de modelaje la entendemos como la actividad sistemática que llevan a cabo los científicos para construir y aplicar el conocimiento científico (Halloun, 1996). O, si se quiere, el proceso de transformación del mundo que se lleva a cabo cuando se piensa científicamente acerca del mismo (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2005).

Desde el punto de vista educativo, los modelos desempeñan también un papel primordial en la enseñanza de las ciencias (Halloun, 2004), mediatizados por un proceso de transposición didáctica (Archer, Arcà y Sanmartí, 2007) que conduce a lo que algunos autores denominan *modelos enseñados* (Treagust, Chittleborough y Mamiala; 2004; Coll, France y Taylor, 2005), *representaciones didácticas de los modelos* (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001), *modelos pedagógicos* (Islas y Pesa, 2003) o *modelos curriculares* (Justi, 2006). Debido a ello, no debe extrañar el alto interés que ha despertado el tema de los modelos entre los investigadores en didáctica de las ciencias, y prueba de ello es, por ejemplo, que revistas como *Science & Education* dediquen un número monográfico reciente al papel de los modelos en la ciencia y en la educación científica (Matthews, 2007).

En algunas ocasiones, los modelos se proporcionan directamente, en formato declarativo, mediante una representación simplificada y adaptada a la edad del modelo científico. Pero normalmente se presentan además utilizando recursos que ayudan a su asimilación, como dibujos, maquetas, modelos mecánicos, metáforas, analogías, simulaciones, paradojas, experimentos mentales, etc. Tales elementos actúan como mediadores entre los modelos y la comprensión previa de los alumnos acerca del mundo, y son lo que Justi (2006) denomina *«modelos para la enseñanza»*. En cualquier caso, el contexto didáctico obliga a que los modelos científicos no puedan ni deban enseñarse en estado puro, sino que, como todo conocimiento científico, hayan de adaptarse, presentarse e incluso reestructurarse en un formato distinto acorde con la ciencia escolar (Sanmartí, 2000; Izquierdo, 2005).

Además, los modelos juegan un papel crucial en el aprendizaje de los alumnos, a través de las representaciones internas que éstos generan, unas veces para explicar y predecir el comportamiento de los fenómenos con los que interaccionan y otras para comprender los modelos formales a los que se aproximan desde los contenidos escolares (Vosniadou, 1994; Grosslight, Under, Jay y Smith, 1991; Reiner y Gilbert, 2000; Solsona, Izquierdo y Gutiérrez, 2000). Así, por ejemplo, autores como Halloun (1996) consideran que aprender ciencia no implica sino aprender el juego de la modelización.

Si tuviésemos que destacar una característica esencial de los modelos, en cualquiera de sus acepciones, sería su utilidad. Un modelo es útil en la medida en que puede explicar los hechos disponibles y es capaz de proporcionar predicciones sobre hechos futuros. De ahí que no pretenda representar la realidad en todos sus detalles, sino solamente aquellos más significativos (Giere, 1999; Halloun, 2007). Y de ahí también que, a la postre, ningún modelo, por sí solo, consiga dar cuenta de todas las facetas del fenómeno (Treagust, Chittleborough y Mamiala, 2004).

Modelar resulta un proceso complejo cuyo desarrollo exige toda una gama de competencias (Lopes y Costa, 2007). Además de conocimiento sobre el dominio específico, involucra numerosas estrategias, destrezas y determinados compromisos epistemológicos (Grosslight et al., 1991; Van Driel y Verloop, 1999; Harrison y Treagust, 2000a,b; Justi y Gilbert, 2002).

Así, de una parte, comporta una serie de procesos y de habilidades para llevarlos a efecto, que están en estrecha relación con los componentes del ciclo de investigación. Desde esta perspectiva, diversos autores han aportado esquemas destinados a explicar los procesos de modelización (Martinand, 1992; Justi y Gilbert, 2002; Halloun, 2007). Entre ellos destacaremos el propuesto por Justi y Gilbert (2002), quienes postulan una serie de etapas que operan de un modo cíclico y recurrente: decidir el propósito de la labor de modelización; seleccionar la fuente del modelo; producir un modelo mental; decidir el modo de representación (material, visual, verbal, matemático); conducir experimentos mentales y reales; revisar el modelo; y finalmente dar el proceso de modelización por

completado, asumiendo los logros y limitaciones del mismo o rechazando el modelo mental elaborado volviendo al punto de partida.

Por otra parte, los modelos están cargados de valores, marcando y justificando las propias «reglas del juego» de una disciplina científica. En este sentido, los modelos conforman una determinada manera de ver el mundo y, en definitiva, una forma de pensar y actuar en y sobre el mismo. En este contexto, Halloun (1996) destaca el valor del modelo científico como empresa racional y sistemática para generar y aplicar nuestro conocimiento sobre el mundo. Oversby (1999), por su parte, considera la actividad de modelar en estrecha relación, entre otras cosas, con la capacidad de percibir el rol de los modelos en la elaboración de explicaciones y con la percepción de la utilidad y limitaciones de una variedad de modelos. Grosslight y otros (1991), además, resaltan el valor de los modelos como intentos imaginativos de representar la realidad, más que como copias exactas de la misma, como suele tender a pensarse en muchos casos. En una línea semejante, Harrison y Treagust (2000a,b) manifiestan que uno de los objetivos importantes en el aprendizaje de la modelización consiste en concebir los modelos como representaciones aproximadas y limitadas de la realidad. En este sentido, acentúan la importancia de comprender el carácter parcial y limitado de los modelos como representaciones simplificadas de una realidad compleja (Ingham y Gilbert, 1991).

Según todo esto, un aspecto importante de la enseñanza de las ciencias debería ser enseñar a los alumnos las competencias necesarias para el acto de modelar (Harrison y Treagust, 2000b; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2005), dado que las mismas pueden ser desarrolladas mediante el proceso de enseñanza (Nersessian, 1999). Y ello implicaría no sólo hacer que los alumnos aprendan modelos, sino que desarrollen también las estrategias, habilidades, actitudes y compromisos epistemológicos que se requieren para que puedan aplicar y evaluar modelos, o incluso puedan llegar a (re)construirlos. En contraste con esta necesidad, casi nunca se suele dedicar espacio en la escuela a enseñar a los alumnos cómo construir modelos (Justi y Gilbert, 2002), y son pocos los trabajos que ofrecen pautas para la evaluación de la modelización en ciencias (Oversby, 1999).

Desde el punto de vista del alumno como sujeto participante, es posible otorgarle distintos grados de implicación en la elaboración de un modelo en la escuela. Por ejemplo, Justi y Gilbert (2002) proponen una jerarquía en orden de menor a mayor complejidad de acuerdo al esquema propuesto en el cuadro 1.

Cuadro 1
Niveles de complejidad para la labor de modelar, según Justi y Gilbert (2002).

(a) Aprender modelos a través de los modelos enseñados.
(b) Aprender a usar modelos.
(c) Aprender a revisar y cambiar los modelos que ya conocen.
(d) Aprender a reconstruir modelos ya existentes.
(e) Aprender a crear modelos nuevos.

La competencia del estudiante ante cualquiera de estas tareas requiere disponer de las capacidades que se necesitan para realizar las anteriores, de ahí la complejidad creciente de dicha gradación que puede considerarse en cierta forma como un itinerario de progresión en la tarea de modelar.

En definitiva, el razonamiento basado en modelos demanda toda una gama de competencias deseables, y asimismo requiere un proceso de aprendizaje y de práctica dentro de la cultura de clase (Treagust, Chittleborough y Mamiala, 2004). En este trabajo nos referimos al pensamiento modelizador como conjunto de competencias necesarias para llevar a cabo la tarea de modelar en su dimensión más amplia. No sólo se trataría de que los alumnos aprendiesen modelos, sino, llegado el caso, dispusiesen de las habilidades y actitudes necesarias para elaborar modelos nuevos (Justi y Gilbert, 2002; Justi, 2006). Algunos ejemplos de las competencias a las que nos referimos los encontramos en la capacidad de interpretar y predecir fenómenos mediante modelos, la posibilidad de reconocer la utilidad y las limitaciones de los mismos, la utilización de una cierta diversidad de ellos para un mismo fenómeno, o la creatividad en la génesis de ideas que puedan contribuir a generar nuevos modelos.

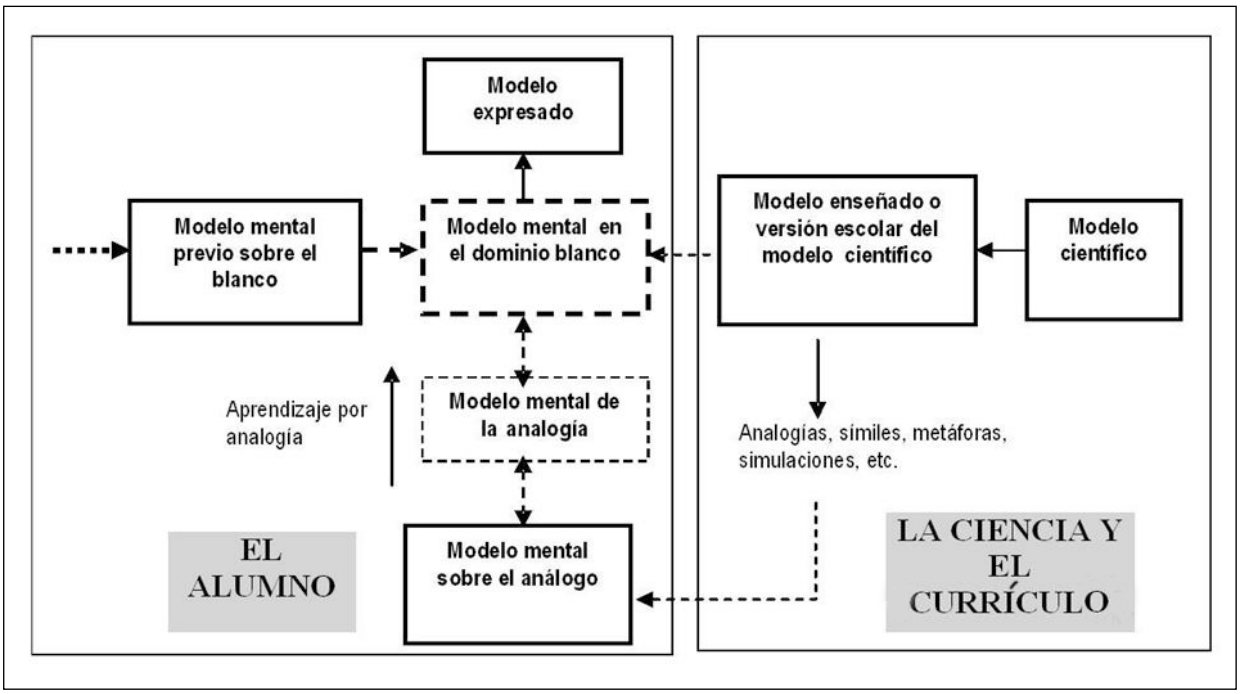
En este sentido, un valor importante de las analogías radica en su potencial para desarrollar estrategias, habilidades y visiones epistemológicas de interés para la ciencia y para los procesos de modelización (Oliva, 2004). Por esta razón, y porque hoy día uno de los principales fines de la enseñanza de las ciencias es el desarrollo de herramientas y capacidades necesarias para el proceso de modelización (Gilbert, 1993; Harrison y Treagust, 2000a), las analogías resultan un recurso interesante como mediador en el desarrollo de esas competencias. Antes de entrar de lleno en la fundamentación de esta hipótesis pasaremos a exponer un marco teórico para el

aprendizaje «con», «a partir de» y «a través» de modelos, y a situar el papel de las analogías como elemento mediador y facilitador del proceso.

LOS MODELOS Y LAS ANALOGÍAS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Asumir qué son las analogías y cuál es su papel en la enseñanza, pasa por poseer un marco o esquema teórico que ayude a entender cómo funcionan éstas. Entre los diferentes marcos teóricos existentes a la hora de entender el aprendizaje por analogía nos situaremos en el que expusimos en una serie de trabajos anteriores (Oliva et al., 2003; Oliva, 2004). Dicho marco se sustenta a su vez, de una parte, en los trabajos sobre modelos mentales y razonamiento analógico procedentes de la psicología cognitiva, pero también, de otra, en la investigación realizada desde la propia didáctica de las ciencias (Clement, 2000; Greca y Moreira, 2000; Marín, 2003), particularmente desde el campo de estudio sobre analogías (Duit, 1991; González-Labra, 1997; Duit et al., 1998; Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001; Oliva et al., 2001a, González, 2002; etc) (ver figura 1).

Figura 1
Modelos mentales, modelo enseñado, modelo expresado y modelo de la analogía (Oliva et al., 2003).



En el recuadro de la derecha los modelos que se incluyen son de tipo conceptual, al tratarse de conocimientos de tipo explícito y externo a los individuos, resultado del consenso alcanzado, en un caso, por las comunidades científicos y, en el otro, por educadores y divulgadores encargados de hacer llegar esa ciencia a los escolares o al público en general. Dentro de estos últimos podemos situar, entre otros: los diagramas, las maquetas y modelos a escala, o las analogías y metáforas. En este contexto, las analogías se consideran como una clase especial de modelos que involucran la comparación de dos dominios o fenómenos que son similares entre sí en algunos aspectos, uno mejor conocido y otro por conocer. Se considera que éstas son usadas tanto por científicos como por profesores de ciencias. Los primeros con objeto de desarrollar y expresar sus modelos mentales, y los segundos con objeto de expresar y hacer más accesibles a los alumnos ideas que son abstractas (Coll, France y Taylor, 2005).

En el recuadro de la izquierda, etiquetado con la palabra alumno, los modelos que aparecen son, en unos casos, modelos mentales (Johnson-Laird, 1983; Pozo, 1989; Gutiérrez y Ogborn, 1992; Vosniadou, 1994; Greca y Moreira, 2000). Éstos son idiosincrásicos, personales e internos, y consisten en las representaciones que generamos los individuos durante el funcionamiento cognitivo, cuando tratamos de comprender, explicar y predecir el comportamiento de los sistemas con los que interaccionamos (Johnson-Laird, 1983; Vosniadou, 1994). Son formas de pensar y de representar el mundo exterior que elaboramos y activamos cuando queremos comprender y/o manipular ideas (Grosslight, et al., 1991; Greca y

Moreira, 2000; Reiner y Gilbert, 2000; Solsona, Izquierdo y Gutiérrez, 2000). En otros casos, sin embargo, son modelos expresados (Gilbert y Boulter, 1995), que son las representaciones explícitas que los alumnos exteriorizan cuando, individualmente o en un contexto colectivo, son cuestionados sobre problemas de la ciencia escolar. Precisamente, son éstos los indicadores que utilizamos para conceptualizar los modelos mentales de los alumnos, al ser éstos internos, ocultos y directamente inaccesibles (Gilbert y Boulter, 1995).

Como se sugiere en la figura 1, la elaboración y evolución de los modelos mentales en el alumno no es el producto de un proceso de transmisión de significados, sino consecuencia de la evolución cognitiva que resulta de la interacción entre los modelos mentales del alumno y las versiones didácticas de los modelos científicos (Gutiérrez y Ogborn, 1992; Gutiérrez, 1996: Vosniadou, 1994; Archer, Arcà y Sanmartí, 2007). Es aquí donde situamos las analogías como recursos que permiten al alumno construir conocimientos en un dominio dado a partir de su comprensión sobre otro que resulta para él mejor conocido y más familiar.

A la hora de trazar una analogía, un primer paso consiste en elegir el análogo o situación de anclaje que se utiliza como referencia. Se supone que el análogo elegido ha de ser mejor conocido por el alumno, al menos en aquellas facetas que se pretende representar del objeto. Al evocar la analogía, partimos, pues, de: *a*) un modelo mental incipiente que tendrá el alumno sobre la situación objeto de estudio, *b*) un modelo mental de la situación análoga que se utiliza como referencia, y *c*) un modelo enseñado delimitado por un conjunto de herramientas y representaciones didácticas, algunas de ellas destinadas a estimular el razonamiento analógico en los alumnos. Estas últimas, integradas dentro de un marco más amplio que serviría para configurar el contexto y los fines a partir de los cuales se elabora la analogía, y en definitiva el mensaje o modelo de la analogía que se intenta impulsar.

Dentro de los modelos mentales todavía podríamos distinguir una acepción específica de la noción de modelo que resulta básica al hablar de la analogía como recurso didáctico. Se trata de la idea de modelo que introduce Duit (1991) como conjunto de elementos comunes que se aprecian entre los dos sistemas o fenómenos que se comparan durante la construcción de una analogía. A este tercer tipo de modelo lo denominaremos *modelo de la analogía*.

Como puede apreciarse, el marco expuesto aporta un soporte estructural para comprender el papel de los distintos tipos de modelos, incluido el modelo mental de la analogía (Fig. 1). Pero, asimismo, proporciona un esquema desde el que entender la dinámica de funcionamiento del pensamiento analógico en contextos didácticos.

Una vez expuesto el marco en el que nos movemos cuando concebimos qué es una analogía y cómo opera el pensamiento analógico que se desencadena con ella, parece oportuno entrar de lleno en el tema que nos ocupa, que no es otro, recordemos, que justificar el valor de las analogías como recurso que contribuye no sólo al aprendizaje de conocimientos teóricos, sino también al desarrollo de competencias relacionadas con la tarea de modelar.

EL APRENDIZAJE POR ANALOGÍA Y EL ACTO DE MODELAR

El uso de analogías aparece ligado normalmente en la literatura al aprendizaje en el ámbito conceptual, por ejemplo, como ayuda en la compresión y desarrollo de nociones abstractas o como recurso dirigido a cambiar las ideas intuitivas ya existentes (Posner et al., 1982; Brown y Clement, 1989; Treagust et al., 1992; Lawson, 1993; Clement, 1993; Brown, 1994; Duit, 1991; Dagher, 1994; Nersessian, 1999). De hecho, para autoras como Nersessian (1999), las analogías constituyen una de las formas de pensamiento que pueden servir para materializar procesos de razonamiento basados en modelos, dado que los modelos mentales no son sino «análogos» estructurales del mundo físico que intenta representar (Johnson-Laird, 1983)

No obstante, últimamente se detecta un desplazamiento en el interés por las analogías desde razones de este tipo hacia otras comprometidas con una formación más integral del alumno (Oliva, 2004). En efecto, como señala Dagher (1994), sobrevalorar la contribución de las analogías en el aprendizaje de conceptos podría llevarnos a subestimar su aportación en el desarrollo de la creatividad y de la imaginación, en la construcción de un pensamiento más integral e interconectado, o en la mejora de la autoestima y otros factores actitudinales. Nuestra hipótesis, como ya hemos avanzado, es que el trabajo con analogías en el aula puede ayudar al alumno a desarrollar una parte importante de las competencias que requieren todas estas tareas comentadas, las cuales, globalmente, se encuentran estrechamente relacionadas con el acto de modelar.

Con objeto de analizar con detenimiento dicha hipótesis, recurriremos a la jerarquía propuesta en el cuadro 1 para interpretar en qué consiste el acto de modelar (Justi y Gilbert, 2002). Para cada una de las cinco categorías que componen dicha jerarquía, veremos cómo el uso y construcción de analogías puede contribuir al desarrollo de las correspondientes competencias que llevan asociadas.

Aprender modelos a través de las analogías que emplea el profesor

Un primer contacto con la actividad de modelar es la que lleva a cabo el alumno cuando aprende las versiones escolares de los modelos científicos; es decir, los modelos enseñados. En este sentido, el lenguaje de los modelos científicos y las imágenes que se utilizan para representarlos están repletos de procesos de naturaleza analógica, por cuanto analógicos son los procesos de transferencia de significados que están en su origen (Van Driel y Verloop, 1999; Gilbert, Boulter y Rutherford, 1998, Harrison y Treagust, 2000a). De ahí que los modelos analógicos su-

pongan un instrumento de indudable valor para enseñar a modelar. Para empezar, los modelos están formados por procesos analógicos que buscan similitudes y diferencias entre la realidad y el referente que lo representa (Gilbert, Boulter y Rutherford, 1998). Por ejemplo, la teoría cinética de los gases se basa en la analogía de «esferas rígidas», mientras el modelo nuclear se basa en la analogía de una «gota líquida». También en el marco escolar dicha relación modelo-analogía es patente. Así, cuando utilizamos en las clases de ciencias un modelo molecular de bolas, una maqueta a escala para explicar el Sistema Solar, globos inflados para ilustrar la forma de distintos orbitales, o simplemente una celdilla unidad para representar el cloruro sódico, usamos esos recursos como análogos de la realidad que se quiere representar, pero no como la realidad misma (Oliva et al., 2003). Logramos con ello estimular el pensamiento analógico de los alumnos y que éstos imaginen lo que nunca han visto ni verán jamás en función de lo que ya conocen y/o pueden ver y tocar (Justi y Gilbert, 2006).

Esta idea se puede ver potenciada si el aprendizaje por analogía se concibe como algo más que aprender analogías prefabricadas por el profesor o por el libro de texto. Por ejemplo, dada una analogía presentada oralmente o mediante un texto escrito, podría pedirse a los alumnos que expusiesen qué han entendido a partir de ella valiéndonos para ello, entre otros instrumentos, de un mapa conceptual o de un diagrama de correspondencias entre conceptos y atributos del dominio objeto y del análogo.

De particular interés resultan las ocasiones en las que los alumnos son enseñados utilizando distintos análogos para explicar el mismo objeto (Duit, 1991; Thagard, 1992; Dagher, 1994; Heywood y Parker, 1997). Como señalan Harrison y Treagust (2000b), un aspecto esencial en la enseñanza de la actividad de modelización consiste en utilizar consciente y deliberadamente distintos modelos para explicar un mismo tópico científico. De hecho, autores como Frederiksen, White y Gutwill (1999) muestran la importancia de que los alumnos establezcan puentes y relaciones entre modelos distintos. Particularmente Harrison y Treagust (2000a) proponen el uso de modelos múltiples explicativos para ilustrar un mismo fenómeno o concepto como forma de enseñar a los alumnos la esencia de la actividad de modelar.

Desde esta perspectiva, la enseñanza-aprendizaje por analogía puede ser útil para familiarizar a los alumnos con esta forma de actuar y pensar. En efecto, diversos autores sugieren la conveniencia de adoptar más de una analogía para propiciar que el modelo mental que se construya sea próximo al modelo deseable desde el punto de vista de la ciencia escolar (Duit, 1991; Dagher, 1994; Heywood y Parker, 1997). Éstas servirían, de un lado, como recursos que permitirían resaltar y acotar las facetas relevantes del modelo que se pretende ilustrar mediante la comparación entre el *blanco* y los *análogos*. De otro, como instrumento que favorece la evolución entre distintos modelos si se usa de un modo encadenado a través de diversas analogías sucesivas (Kaufman, Patel y Magder, 1996). Cada una de ellas iría aportando distintos rasgos adicionales al modelo mental del alumno, o también modificando aquellos que resultan inadecuados.

A partir de aquí, un segundo nivel de modelización científico se verificaría cuando los alumnos son puestos en disposición de aplicar los modelos que ya han aprendido. Se puede esperar de ellos que utilicen un modelo para realizar predicciones o que manejen los modelos aprendidos para extraer nuevas conclusiones, relacionar ideas hasta el momento aparentemente desconectadas o resolver problemas. Se trataría, pues, de saber aplicar aquellos modelos que los alumnos ya han aprendido.

Aprender a usar modelos aplicando las analogías aprendidas

Con vistas al aprendizaje de las habilidades que dicha tarea demanda, las analogías pueden resultar también útiles si se plantean como instrumentos que permitan a los alumnos realizar predicciones sobre determinados fenómenos o también para llevar a cabo una interpretación heurística de los mismos, aunque sólo sea a un nivel figurativo desde una primera aproximación. De hecho, puede ser interesante la formulación y evaluación de predicciones, como una forma de comprobar ante los alumnos la utilidad de la analogía que se maneja. Dicha tarea puede conllevar el uso de diseños experimentales de comprobación o simplemente experimentos mentales (Justi, 2006; Justi y Gilbert, 2002, 2006). De esta forma, la analogía puede servir de soporte sobre el que construir significados y conclusiones, mediante la representación que proporciona al alumno el modelo mental análogo.

La otra forma de comprobar la plausibilidad de los modelos, como decíamos, es mediante experimentos mentales, que también forman parte del repertorio de recursos empleados a menudo por los científicos. En este sentido, analogías y experimentos mentales, aun siendo recursos distintos, mantienen numerosos vínculos y relaciones comunes, componiendo ambos ingredientes fundamentales de los procesos de modelización científica (Nersessian, 1992, 1999). Los experimentos mentales son experimentos dirigidos mentalmente, sin necesidad de que se ejecuten, con el objetivo de extraer conclusiones acerca de una situación o fenómeno dado (Nersessian, 1999; Gilbert y Reiner, 2000). Ejemplos de razonamientos de este tipo los encontramos en «el diablillo de Maxwell», «el gato de Schrödinger» o algunos de los razonamientos empleados por Galileo. Comparten con las analogías el uso de elementos gráficos y visuales, siendo frecuente que ambos recursos se acompañen de dibujos e ilustraciones (Reiner y Gilbert, 2000). También tienen en común el hecho de que cualquier analogía demande la actividad imaginativa del sujeto e incluso que éste dirija mentalmente algún tipo de experimento. Asimismo, en ocasiones los experimentos mentales se acompañan de fantasías alegóricas próximas al razonamiento analógico.

Por otra parte, comprobar la fertilidad de las analogías como herramienta para predecir o entender nuevos fenómenos puede ser clave para valorar la lógica y la racionalidad del pensamiento científico y la importancia de

los modelos en la construcción de las ciencias. En efecto, trabajar con analogías implica una labor semejante al uso y construcción de modelos, por cuanto implica la búsqueda de conexiones entre objetos, atributos y relaciones entre ellos. Supone, por tanto, una cierta sistematicidad de pensamiento, un argumentar razones a favor y en contra, como hemos visto, y con ello también una forma diferente de ver el mundo, orientada desde criterios lógicos que van más allá del pensamiento implícito de sentido común. La comprobación de las bondades de esta forma de pensar creemos que puede resultar estimulante en la valoración de la ciencia como forma de acceso a nuestro conocimiento sobre el mundo y, a la larga, como forma de desarrollar posiciones críticas que puedan desembocar en procesos de revisión y de cambio conceptual.

Aprender a revisar y cambiar modelos mediante el uso crítico de analogías

Un nivel superior de contacto con la tarea de modelar consiste en acercarse a los modelos que ya se conocen con un espíritu crítico. Se trataría de analizarlos, revisarlos y, caso de que fuese necesario, cambiarlos por otros de validez más contrastada, lo cual lleva aparejado el desarrollo de sus habilidades metacognitivas (Coll, France y Taylor, 2005). Por ese motivo, un aspecto importante del aprendizaje de las ciencias consiste en desarrollar habilidades de análisis crítico para enjuiciar los modelos mentales de que se dispone acerca de los fenómenos naturales y estar dispuestos a cambiarlos o hacerlos evolucionar.

En este sentido, las analogías, como también ocurre con los modelos científicos y los modelos enseñados, tienen sus virtudes y utilidades pero también sus limitaciones (García-Monteiro y Justi, 2000). De ahí que encontrar los rasgos útiles de una analogía y sus límites de aplicación resulte un ejercicio de extraordinario valor para el desarrollo de destrezas y habilidades necesarias para la evaluación de datos a favor y en contra de los modelos y teorías y como una forma de desarrollar una imagen más ajustada de lo que es la ciencia (Dagher, 1994; Dagher, 1995; Ben-zvi y Gemut, 1998; Oliva, 2004; Justi y Gilbert, 2006; Justi, 2006).

Se comprende de todo ello el interés de numerosos autores por fomentar el análisis de los límites de las analogías que se emplean. Así, el modelo TWA (Teaching With Analogies) de Glyn (1991) dedica una fase específica de la construcción de la analogía al estudio de las limitaciones de ésta, mientras que autores como Heywood y Parker (1997) contemplan la reflexión del alumno sobre los fallos de las analogías como una forma interesante de implicar a los alumnos en su proceso de aprendizaje. Visto de esta forma, el hecho de que una analogía falle no debería considerarse como un problema, sino como una oportunidad especial de implicar cognitivamente al alumno en el proceso de transferencia analógica (Heywood, 2004).

Asimismo, y como ya se sugirió antes, la toma de conciencia y la aceptación de las limitaciones que tienen las analogías podrían ser de utilidad para comprender las limitaciones y el carácter aproximativo de los modelos científicos. Se superaría con ello los problemas a los que algunos autores aluden, cuando reconocen que los alumnos suelen aprender los modelos y teorías científicas como descripciones o leyes absolutas de la realidad (Martinand, 1986; Ben-zvi y Gemut, 1998), ayudando a la vez en el proceso de humanización de la ciencia (Dagher, 1995a). Con ello, indirectamente, se estará proporcionando una imagen menos dogmática de la ciencia y también contribuyendo al desarrollo de mentes más abiertas y dispuestas al cambio de las ideas preexistentes.

Obrando de esta manera, estaremos desarrollando el juicio crítico de los alumnos y su capacidad para interpretar de forma autónoma el sentido y validez de cada analogía. Dichas habilidades y actitudes serán, sin duda, fundamentales en el manejo de los modelos aprendidos en la escuela, así como en el reconocimiento de sus limitaciones y en la necesidad de operar cambios sobre ellos. Por esta razón, resulta esencial la disponibilidad de una cierta variedad de modelos que sirvan como alternativas entre las que elegir la forma de representación más conveniente. De hecho, entre las fases principales postuladas por Justi y Gilbert (2002) para el proceso de modelización, se plantea una en la que los alumnos han de elaborar un modelo mental. Dicho modelo ha de ser expresado usando alguna forma de representación, que ha de ser seleccionada espontáneamente por ellos mismos o a partir de un listado de representaciones que se les ofrece. Como sugiere Justi (2006), ésta es probablemente una de las destrezas más importantes que podemos desarrollar en los alumnos durante el proceso. Y a ello puede ayudar decisivamente, añadimos nosotros, la familiaridad del alumno en el trabajo con múltiples analogías para un mismo fenómeno, la cual podría contribuir decididamente al desarrollo de las dotes que requiere este proceso de evaluación, revisión y selección de alternativas.

Además, en una serie de interesantes trabajos, Nersessian ha fundamentado el papel de las analogías y del razonamiento analógico en los procesos de inspiración creativa que preceden a los procesos de cambio conceptual en los científicos (Nersessian, 1992, 1999). Del mismo modo, hemos de esperar que el trabajo con analogías constituya una forma de desarrollar en los alumnos procesos creativos de transformación o evolución de sus ideas, a través del desarrollo de su pensamiento abstracto y de las dotes imaginativas que se requieren para la construcción o, si se quiere, reconstrucción de nuevos conocimientos.

Aprender a reconstruir modelos ya existentes mediante la participación guiada en la creación de analogías

Siguiendo con la escala de progresión que estamos manejando, encontramos la posibilidad de que sean los propios alumnos los que tengan que reconstruir, con cierta autonomía, versiones simplificadas de los modelos de la ciencia escolar. Dicha actividad comporta una compleja labor creativa de análisis y simplificación de la realidad percibida, mediante la formulación de hipótesis sobre las

que luego se indaga mediante la búsqueda de datos y hechos que las pongan a prueba.

Es claro que esta forma de concebir la labor de modelización requiere disponer de un conjunto de habilidades y destrezas que habría que desarrollar previa y paralelamente en los alumnos. Desde nuestro punto de vista, las analogías pueden ser útiles también para tales propósitos cuando se conciben como procesos en los que los alumnos aportan opiniones, toman decisiones y, en definitiva, contribuyen de forma explícita a su construcción.

Por su carácter eminentemente procesual, el pensamiento analógico conlleva la aplicación y desarrollo de mecanismos muy próximos a los que requiere la actividad de modelización científica (Oliva, 2004). En efecto, de un lado, la construcción de una analogía exige la identificación, reconocimiento y diferenciación de los dominios o fenómenos que se ha de comparar. Ello implica, además, el análisis de los conceptos y atributos que intervienen en el *blanco* y en el *análogo*, la identificación y selección de aquellos conceptos y atributos que, se supone, van a ser relevantes en el proceso de comparación. De otro, conlleva la exclusión de aquellos otros que se consideran irrelevantes para sus propósitos. Asimismo, el proceso continúa con la búsqueda de relaciones de distinto tipo, en primer lugar de naturaleza causal dentro del dominio fuente, y más tarde, de abstracción de semejanzas entre los dominios en comparación. Está claro, pues, que la construcción de una analogía exige el establecimiento de similitudes y relaciones causales entre conceptos y/o fenómenos, como también de las correspondientes limitaciones, aspectos que también juegan un papel relevante dentro del razonamiento científico y del aprendizaje de las ciencias (Acevedo, 1990). En definitiva, el aprendizaje mediante analogías conlleva actividades como analizar, comparar, relacionar, sintetizar, diferenciar, etc., todas ellas claves dentro del repertorio habitual de destrezas del currículo de ciencias, y muy vinculadas con la modelización en ciencias.

Consecuentemente con esto, y frente a la manera clásica que concibe el trabajo con analogías como mera presentación de éstas mediante métodos transmisivos, distintos autores han realizado propuestas alternativas en las que los alumnos pasan a jugar un papel importante en su proceso de elaboración. Así, Cachapuz (1989) planteaba la posibilidad de que la analogía surgiese de la exploración interactiva entre el alumno y el profesor, concibiendo aquélla como el resultado de un proceso de construcción en el que los alumnos participan y son también sus protagonistas. En sintonía con esta idea, autores como Brown y Clement (1989), Dagher (1995a) o Yerrick y otros (2003) conciben la discusión profesor-alumno y alumno-alumno como factor clave en la comprensión de la analogía que se maneja. Asimismo, en Oliva y otros (2001a) se aporta una propuesta didáctica orientada a la participación activa del alumno en la elaboración de analogías.

Un aspecto importante a considerar ante este tipo de tareas es la búsqueda de un equilibrio entre el grado de iniciativa concedida al alumno en la elaboración de la analogía y la labor directiva que el profesor ha de ejercer para monitorizar su comprensión (Oliva et al., 2001a). Si las tareas que se plantean son excesivamente abiertas, se corre el riesgo de aceptar analogías inadecuadas que pudieran originar errores de aprendizaje (Stavy y Tirosh, 1993). Pero si, por el contrario, se considera sólo una respuesta como posible –aquella que previamente el profesor ha pensado o establecido– estaremos coartando la iniciativa y el pensamiento divergente del alumno. Por esta razón, la construcción de analogías debería ser un proceso monitorizado por el profesor (Dagher, 1995b; Jarman, 1996) o por determinado tipo de mecanismos como son los mediadores a través de puentes (Brown y Clement, 1989; Brown, 1994; Clement, 1993, 1998). De ahí que hablemos de «reconstruir» analogías y no de la «invención autónoma» de analogías personales, aspecto que reservamos para un nivel superior de modelización como el que se ve implicado en el apartado siguiente.

De cualquier modo, independientemente del grado de apertura de la tarea en la que se ven inmersos los alumnos, el simple hecho de que éstos debatan y discutan acerca de los modelos que generan en estos contextos de aprendizaje guiados por el profesor posee ya en sí mismo un importante valor. En efecto, un aspecto de los modelos que también los alumnos deberían aprender se refiere al modo en el que éstos son expresados, debatidos y probados por la comunidad científica hasta que llegan a ser aceptados. Éste es un aspecto que representa bien la dimensión social de la ciencia y que debería ser objeto de estudio y reflexión también desde la enseñanza y aprendizaje de la ciencia. En este sentido, se han de valorar las prácticas educativas que proporcionan una oportunidad a los alumnos de participar en un tipo de discusión semejante a la que lleva a cabo la comunidad científica a la hora de seleccionar y consensuar sus modelos, aprendiendo más acerca de la naturaleza de la ciencia, al experimentar *in situ* un aspecto crucial como es la dimensión social del proceso de modelización científica (Coll, France y Taylor, 2005).

Aprender a crear modelos nuevos mediante la elaboración de analogías personales

La elaboración de modelos nuevos en temas frontera de la ciencia constituye una labor que concierne al científico, y no al alumno. Escapa, por tanto de las pretensiones que para la educación científica pueda tener dicha finalidad en etapas anteriores a la universidad. No obstante, ello no impide que, desde el ámbito escolar, se intente contribuir a la preparación del alumno en esta dirección con vistas al futuro. Con tal fin resulta esencial desarrollar capacidades como la racionalidad, el pensamiento hipotético-deductivo, el espíritu crítico, la creatividad, etc., en línea con lo apuntado en epígrafes anteriores. Estas capacidades cobran para el científico una dimensión aún mayor, pero han de entenderse como la culminación de competencias que se han ido desarrollando a lo largo de su formación científica en los estudios de grado y, finalmente, en los de posgrado.

Históricamente, si analizamos la producción de figuras como Kepler, Newton, Maxwell, Einstein, Kekulé,

Darwin, Böhr o Mendeleiev, entre otros, comprobaremos cómo la construcción de modelos analógicos ha jugado un papel central tanto en los momentos de creación científica como en la comunicación del conocimiento ya creado (Nersessian, 1999, 2002; Oliva y Acevedo, 2004; Acevedo, 2004; Justi y Gilbert, 2006; etc.).

Son variados los motivos por los que los científicos utilizan las analogías; por ejemplo, para favorecer y desarrollar su propio pensamiento, generar nuevos conceptos y conocimientos, establecer una nueva teoría, etc. En general, el uso de analogías es parte sustancial del razonamiento científico para intentar explicar lo desconocido a partir de lo que ya se conoce.

Desde nuestro punto de vista, la elaboración de analogías por parte de los alumnos podría contribuir especialmente en esta dirección cuando se conciben, como lo hace Wong (1993a,b), Cosgrove (1995) o Kaufman, Patel y Magder (1996), en términos de analogías personales que los propios alumnos generan, aplican y evalúan para interpretar fenómenos naturales. No se trataría ahora de reconstruir analogías previamente pensadas por el profesor o elaboradas en interacción con él, sino de generar autónomamente las suyas propias, en un contexto de clase en el que se estimula la discusión y el debate, activando asimismo la creatividad y la imaginación. Lawson (1993) se refiere en los siguientes términos a la importancia de los procesos de idear y probar analogías:

«En el proceso de generar y probar las alternativas, los estudiantes ejercitan, y por consiguiente desarrollan, tanto sus destrezas creativas como de pensamiento crítico científico» (Lawson, 1993; p. 1214).

Así pues, para el citado autor la búsqueda y evaluación de posibles analogías que permitan representar un fenómeno dado constituye un medio interesante para mejorar las destrezas de razonamiento científico.

Más concretamente, la creación de analogías espontáneas por parte de los alumnos juega un papel esencial en diversas etapas del modelo de modelización de Justi y Gilbert (Justi, 2006; Justi y Gilbert, 2002), como sucede en la etapa de «selección del origen del modelo», en la que se ha de buscar un referente analógico durante la elaboración del modelo mental mediante el que uno se representa el sistema, o en la de «realización de modelos mentales», que también puede rocurrir a través de una analogía como se ha comentado antes.

No obstante, es claro que no toda analogía generada por los alumnos puede considerarse igualmente adecuada, de ahí la necesidad de disponer de formas de evaluar su pertinencia y utilidad y de ahí, también, la importancia del profesor como guía de dicho proceso en línea con lo apuntado con anterioridad.

En suma, las analogías pueden permitir afrontar finalidades más amplias que las del mero aprendizaje conceptual, ayudando también a la comprensión de la naturaleza de la ciencia, al desarrollo del pensamiento metacognitivo, de la creatividad y de actitudes favorables a la ciencia. O, dicho de otro modo, podrían constituir instrumentos idóneos para desarrollar la imaginación y el pensamiento divergente, así como de aptitudes y actitudes necesarias para el uso crítico de modelos científicos y para ser capaz de modelar la realidad.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA Y PARA LA INVESTIGACIÓN

Como se ha intentado mostrar a lo largo del artículo, las analogías constituyen una herramienta importante no sólo para el aprendizaje de conceptos, sino también para el desarrollo de las capacidades necesarias para el acto de modelar. Tanto asimilar, usar o evaluar los modelos enseñados, como también ser capaz de elaborar modelos, exige disponer de una serie de estrategias, destrezas y visiones epistemológicas que se han de cimentar y estimular desde la infancia en el contexto escolar. Especial mención merecen aquellas capacidades que son necesarias para reconstruir modelos o incluso generar modelos nuevos. Dichas capacidades suelen exigir destrezas complejas de índole superior que habitualmente se etiquetan bajo el término de «imaginación» o de «creatividad». En este sentido, las analogías podrían constituir una herramienta de interés para fomentar las competencias y valores que se requieren para ello.

En contraste con ello, por lo general, los profesores mantenemos una visión de la analogía como recurso dirigido solamente al aprendizaje de conceptos, como bien apuntan los datos obtenidos en estudios como el de Jarman (1996) o el de Oliva y otros (2001b). A través de ellos, se pudo comprobar cómo el profesorado, al ser cuestionado sobre las ventajas del uso de analogías en el aula, suele citar sólo aspectos relacionados con el aprendizaje en dominios conceptuales, como: ayudar a comprender o clarificar conceptos y fenómenos, acercar el fenómeno a aquello que es más familiar para el alumno, convertir lo abstracto en concreto, permitir visualizar los fenómenos, etc. Mientras tanto, son una minoría los que asumen sus aportaciones al desarrollo de la imaginación, de la capacidad de abstracción o en el ámbito actitudinal.

La discusión realizada tomando como referencia la jerarquía propuesta por Justi y Gilbert (2002), no sólo es útil para justificar el valor de las analogías en los procesos de modelización. También puede resultar de interés a la hora de elaborar una escala de progresión para el uso de analogías en el aula por parte de alumnos y/o profesores. Así, de una parte, siguiendo el paralelismo de la jerarquía propuesta por dichos autores, podríamos pensar en la siguiente secuencia para las actividades con analogías que se plantean a los alumnos, secuenciadas de menor a mayor dificultad:

a) Aprender analogías formuladas y presentadas por el profesor o el libro de texto.

b) Usar esas analogías para extraer conclusiones o realizar predicciones sobre fenómenos.

c) Determinar los límites de validez de las analogías aprendidas.

d) Reconstruir analogías previamente pensadas por el profesor y planteadas sólo parcialmente para que los alumnos las completen y reconstruyan.

e) Idear analogías personales propias, usarlas y evaluarlas.

De otra parte, también dicha secuencia podría ser de utilidad para buscar estrategias de formación docente destinadas a favorecer el desarrollo profesional en este ámbito. En efecto, los datos apuntan hacia importantes carencias en el modo de usar analogías respecto a las recomendaciones de la investigación educativa (Oliva, Navarrete y Azcárate, 2007). La vía más asidua para introducir las analogías por los profesores es, con diferencia, el discurso expositivo. Sin embargo, se recurre escasamente a la realización de actividades como vía alternativa para la construcción de la analogía, por ejemplo promoviendo que los alumnos ideen sus propias analogías, utilicen las analogías previamente proporcionadas para hacer predicciones, o descubran y expliciten la analogía que hay de fondo tras las metáforas que se emplean (Oliva, 2003). Tampoco es frecuente que se recurra a estrategias destinadas a favorecer el proceso de transferencia analógica, como por ejemplo: usar la misma analogía para explicar varios hechos, analizar conjuntamente con los alumnos los límites de validez de la analogía construida o desarrollar una cierta variedad de analogías para ilustrar el mismo fenómeno (Thiele y Treagust, 1994, 1995; Thiele, Venville y Treagust, 1995; Dagher, 1995b; Oliva, 2003). De esta forma, la secuencia de progresión mostrada anteriormente podría servir para diseñar un itinerario formativo con distintos niveles de aproximación a un uso más adecuado y participativo de las analogías por parte de los alumnos. Se trataría con ello de promover la compleja evolución de los guiones y rutinas que caracterizan el uso de analogías por parte del profesorado, hacia otros más acordes con los resultados de la investigación.

Según lo visto hasta ahora, son tres las líneas de trabajo que nos proponemos para el futuro. En primer lugar, diseñar y evaluar materiales de enseñanza que empleen analogías como hilo conductor de su desarrollo, según una secuencia de complejidad como la abordada más atrás en correlación con la jerarquía propuesta por Justi y Gilbert (2002) para el acto de modelar. En segundo lugar, dichos materiales de enseñanza podrían ser ensayados con alumnos y ser susceptibles de evaluación a través de investigaciones dirigidas para ello. Se trataría de evaluar la validez de esos materiales a la vez que se analiza cómo el uso sistemático de analogías en la clase de ciencias puede ayudar en la evolución de los modelos explicativos de los alumnos y, a la vez, de las destrezas y visiones epistemológicas que suele requerir el acto de modelar. Finalmente, parece aconsejable el diseño, aplicación y evaluación de programas de formación dirigidos al profesorado, tanto con la intención de mejorar sus competencias modelizadoras, como para promover un uso más adecuado de las analogías al objeto de mejorar las competencias de sus alumnos ante el acto de modelar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, J.A. (1990). Aportaciones acerca del aprendizaje por analogía: modelos conceptuales y analógicos de la corriente eléctrica, en Grupo Investigación en la Escuela (Comps.). *Cambio educativo y desarrollo profesional*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.

ARCHER, A., ARCÀ, M. y SANMARTÍ, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: a case study in primary education. *Science Education*, 91(3), pp. 398-418.

BEN-ZVI, N. y GEMUT, S. (1998). Uses and limitations of scientific models: the Periodic Table as an inductive tool. *International Journal of Science Education*, 20(3), pp. 351-360.

BROWN, D.E. (1994). Faciliting conceptual change using analogies and explanatory models. *International Journal of Science Education,* 16(2), pp. 201-214.

BROWN, D.E. y CLEMENT, J. (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science,* 18, pp. 237-261.

CACHAPUZ, A.F. (1989). Linguagem metafórica e o ensino das ciencias. *Revista Portuguesa de Educação*, 2(3), pp. 117-129.

CLEMENT, J.J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), pp. 1241-1257.

CLEMENT, J.J. (1998). Expert novice similarities and instruction using analogies. *International Journal of Science Education,* 20(10), pp. 1271-1286.

COLL, R.K., FRANCE, B. y TAYLOR, I.(2005). The role of models/and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Educati*on, 27(2), pp. 183-198.

COSGROVE, M. (1995). A case study of science-in-the-making as students generate an analogy for electricity. *International Journal of Science Education*, 17, pp. 295-310.

DAGHER, Z.R. (1994). Does the use of analogies contribute to conceptual change? *Science Education*, 78(6), pp. 601-614.

DAGHER, Z.R. (1995a). Analysis of analogies used by science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(3), pp. 259-270.

DAGHER, Z.R. (1995b). Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in science education. *Science Education*, 79(3), pp. 295-312.

DRIEL, J.H. van y VERLOOP, N. (1999). Teachers' knowledge and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), pp. 1141-1153.

DUIT, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), pp. 649-672.

DUIT. R., ROTH, W.M., KOMOREK, M. y WILBERS, J. (1998). Conceptual change cum discourse analysis to understand cognition in a unit on chaotic systems: towards an integrative persepctive on learning science. *International Journal of Science Education*, 20(9), pp. 1059-1074.

FREDERIKSEN, W. y GUTWILL (1999). Dynamic Mental Models in Learning Science: The Importance of Constructing Derivational Linkages among Models. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(7), pp. 806-836.

GALAGOVSKY, L. y 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), pp. 231-242.

GARCÍA-MONTEIRO, I. y JUSTI, R.S. (2000). Analogias em livros didáticos de química brasileiros destinados ao ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciencias*, 5(2), en línea en <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n2/v5_n2_a1.htm>.

GIERE R, N. (1990) *Explaining Science*. University of Chicago Press, Chicago, USA. (Citado por Islas y Pesa, 2003).

GIERE, R.N. (1999). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, pp. 63-70.

GILBERT, J.K. (1993). *Models and modelling in science education*. Hatfield, UK: Association for science education (citado por Harrison y Treagust, 2000).

GILBERT, J.K. y BOULTER, C. (1995). Stretching models too far. *Annual Meeting of the American Educational Research Association*. San Francisco.

GILBERT, J.K., BOULTER, C. y RUTHERFORD, M. (1998). Models in explanations, Part 1: Horses for courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), pp. 83-97.

GILBERT, R. y REINER, M. (2000). Thought experiments in science education: potential and current realization. *International Journal of Science Education*, 22(3), pp. 265-283.

GLYN, S.M. (1991). Explaining science concepts: A teaching with analogies model, en Glyn, S.M., Yeany, R.H. y Britton, B.K. (eds.). *The psychology of learning science*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.

GONZÁLEZ. B. (2002). *Las Analogías en el proceso Enseñanza-Aprendizaje de las Ciencias de la Naturaleza*. Tesis doctoral. Universidad de La Laguna.

GONZÁLEZ-LABRA, Mª.J. (1997). *Aprendizaje por analogía: análisis del proceso de inferencia analógica para la adquisición de nuevos conocimientos*. Trotta: Madrid.

GRECA, I.M. y MOREIRA, M.A (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), pp. 1-11.

GROSSLIGHT, L., UNGER, C., JAY, E. y 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), pp. 799-882.

GUTIÉRREZ, R. y OGBORN, J. (1992). A causal framework for analysing alternative conceptions. *International Journal of Science Education*, 14(2), pp. 201-220.

HALLOUN, I. (1996). Schematica modelling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), pp. 1019-1041.

HALLOUN, I. (2004). *Modeling Theory in Science Education*. Londres. Kluwer Academic Publishers.

HALLOUN, I. (2007). Mediated modeling in science education. *Science & Education*, 16, pp. 653-697.

HARRISON, A.G. y TREAGUST, D.F. (2000a). A tipology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 1011-1026.

HARRISON, A.G. y TREAGUST, D.F. (2000b). Learning about atoms. Molecules and chemical bonds: a case study of multiple model use in grade 11 chemistry. *Science Education*, 84, pp. 352-381.

HEYWOOD, D. (2004). The place of analogies in science education. *Cambridge Journal of Education*, 32(2), pp. 233-247.

HEYWOOD, D. y PARKER, J. (1997). Confronting the analogy: primary teachers exploring the usefulness of analogies in the teaching and learning electricity. *International Journal of Science Education*, 19(8), pp. 869-885.

INGHAM, A.M. y GILBERT, J.K. (1991).The use of analogue models by students of chemistry at higher education level. *International Journal of Science Education*, 13, pp. 193-202.

ISLAS, S.M. y 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*, 2003, número extra, pp. 58-60.

IZQUIERDO, M. (2005). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), pp. 111-122.

IZQUIERDO, M. y ADÚRIZ BRAVO, A. (2005). Los modelos teóricos para la ciencia escolar. Un ejemplo de química. Actas del VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, número extra.

JARMAN, R. (1996). Student teachers' use of analogies in science instruction. *International Journal of Science Education*, 18(7), pp. 869-880.

JOHNSON-LAIRD, P.N. (1983). Mental models. Cambridge: Cambridge /University Press.

JUSTI, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), pp. 173-184.

JUSTI, R. y GILBERT, J.K. (2002). Modelling teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), pp. 369-387.

JUSTI, R. y GILBERT, J.K. (2006). The role of analog models in the understanding of the nature of models in chemistry, en Aubusson, P.J. Harrison, A.G. y Ritchie, S.M. (eds.). *Metaphor and analogy in science education*, pp. 119-130. Dordrecht: Springer.

KAUFMAN, D.R., PATEL, V.L. y MADGER, S.A. (1996). The explanatory role spontaneously generated analogies in reasoning about physiological concepts. *International Journal of Science Education*, 18(3), pp. 369-386.

LAWSON, A.E. (1993). The importance of analogy: a prelude of special issue. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), pp. 1213-1214.

LOPES. J.B. y COSTA, N. (2007). The evaluation of modelling Competences: difficulties and potentials for the learning of the sciences. *International Journal of Science Education*, 29(7), pp. 811-851.

MARÍN, N. (2003). Conocimientos que interaccionan en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), pp. 65-78.

MARTINAND, J.L. (1986). Enseñanza y aprendizaje de la modelización. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), pp. 45-50.

MARTINAND, J.L. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. INRP, Paris.

MATTHEWS, M.R. (2007). Models in science and in science education. *Science & Education*, 16, pp. 647-652.

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 Universtity Press.

NERSESSIAN, N. J. (1992). How do scientifics think? Capturing the dynamics of conceptual change in science, en Giere, R.N. (ed.). *Cognitive Models of Science*. *University of Minnesota Press*. Minneapolis, MN. pp. 3-45.

NERSESSIAN, N. J. (1999). Model-based reasoning in conceptual change, en Magnani, L. Nersessian, N.J. y Thagard, P. *Model-base reasoning in scientific discovery*. Kluver Academic/Plenum Publishers. Nueva York.

NERSESSIAN, N. J. (2002). Maxwell and «the Method of Physical Analogy»: Model-based reasoning, generic abstraction, and conceptual change, en Malament, D. (ed.). *Essays in the History and Philosophy of Science and Mathematics*, pp. 129-166. Lasalle, IL: Open Court.

OLIVA, J.Mª. (2003). Rutinas y guiones del profesorado de ciencias ante el uso de analogías como recurso en el aula (en línea). *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. Disponible en línea en <http://www.saum.uvigo.es/reec>.

OLIVA, J.Mª. (2004). El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(3). En línea en <http://www.saum.uvigo.es/reec/>.

OLIVA, J.Mª., ARAGÓN, Mª.M., MATEO, J. y BONAT, M. (2001a). Una propuesta didáctica, basada en la investigación, para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), pp. 453-470.

OLIVA, J.Mª., ARAGÓN, Mª.M., MATEO, J. y BONAT, M. (2001b). Cambiando las concepciones y creencias del profesorado de ciencias en torno al uso de analogías. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 4(1). En línea en <http://www.aufop.org/publica/reifp>.

OLIVA, J.Mª., ARAGÓN, Mª.M., BONAT, M. y 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), pp. 429-444.

OLIVA, J.Mª., NAVARRETE, A. y AZCÁRATE, P. (2007). Models of teaching with analogies as a resource in the science classroom. *International Journal of Science Education*, 29(1), pp. 45-66.

OVERSBY, J. (1999). Assessment of modelling capability. Second International *Conference of European Science Education Research Association*. Kiel. Alemania.

POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.W., y GERTZOG, W.A. (1982). Accomodation of scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, pp. 211-227.

POZO, J.I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.

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.

SANMARTÍ, N. (2000). El diseño de unidades didácticas, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy. Marfil.

SHIPSTONE, D. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple D.C. circuits. *European Journal of Science Education*, 6(2), pp. 185-198.

SOLSONA, N., IZQUIERDO, M. y GUTIÉRREZ, R. (2000). El uso de razonamientos causales en relación con la significatividad de los modelos teóricos. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(1), pp. 15-23.

STAVY, R. y TIROSH, D. (1993). When analogy is perceived as such. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), pp. 1229-1239.

THIELE, R.B. y TREAGUST, D.F. (1994). The nature and extent of analogies in secondary chemistry textbooks. *International Journal of Science Education*, 22, pp. 61-74.

THIELE, R.B. y TREAGUST, D.F. (1995). Analogies in Chemistry textbooks. *International Journal of Science Education*, 17(6), pp. 783-795.

THIELE, R.B., VENVILLE, G.J. y TREAGUST, D.F. (1995). A comparative analysis of analogies in secondary biology and chemistry textbooks used in Australian schools. *Research in Science Education*, 25(2), pp. 221-230.

TREAGUST, D.F., DUIT, R., JOSLIN, P. y LINDAUER, I. (1992). Science teachers' use of analogies: observations from classroom practice. *International Journal of Science Education*, 14(4), pp. 413-422.

TREAGUST, D.F., CHITTLEBOROUGH, G.D. y MAMIALA, T.L (2004). Students' understanding of the descriptive and predictive nature of teching models in organic chemistry. *Research in Science Education*, 34, pp. 1-20.

VOSNIADOU, S. (1994). Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), pp. 45-69.

WONG, E.D. (1993a). Self-generated analogies as a tool for constructing and evaluating explanations of scientific phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(4), pp. 367-380.

WONG, E.D. (1993b). Understanding the generative capacity of analogies as a tool for explanation. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), pp. 1259-1271.

YERRICK, R.K., DOSTER, E., NUGENT, J.S., PARKE, H.M. y CRAWLEY, F.E. (2003). Social interaction and the use of analogy: an analysis of preservice teachers' talk during physics inquiry lessons. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), pp. 443-463.

[Artículo recibido en septiembre 2007 y aceptado en noviembre de 2008]

Contribution of learning with analogies to the modeling thought of science students

Oliva-Martínez, José María[1,2] y Aragón-Méndez, María del Mar[3]
[1] Departamento de Didáctica. Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Cádiz. España
[2] Instituto de Educación Secundaria Fuerte de Cortadura. Cádiz. España
[3] 3Instituto de Educación Secundaria Drago. Cádiz. España
josemaria.oliva@uca.es
mmaragon@hotmail.com

Abstract

In this paper the role of the models in both science and science education, is revised, marking their central role in the construction process of scientific knowledge. Later, the nature and function of the analogies in science education, are analyzed. Finally, in order to improve procedural knowledge, attitudes and epistemologic commitments related with modeling processes, the use of analogies is also pointed. From this point of view, the analogies could contribute to developing the modeling thought of the students.

Models are important in science because they can be used as instruments to help build theories. For this reason, modeling is an inherent process for the construction and application of scientific knowledge, involving the use of concepts, skills and some kind of views about the nature of science.

Also, from an educational point of view, it is very important that students learn from models of the science curriculum, and they develop competences in scientific modeling. But modeling is a complex process, involving many component activities; skill in respect of each of which has to be mastered. For this reason, the ability to produce models entails the gradual evolution of a series of skills and epistemological commitments. In fact, Justi & Gilbert (2002) identify five approaches to learning about models and modeling through which these commitments and capabilities can be acquired: (a) learning consensus / curricular models, if necessary by means of teaching models; (b) learning the use of models; (c) learning how to revise models; (d) learning the reconstruction of a model; and (e) learning to construct models de novo.

On the other hand, analogies are an important tool in students' learning. They are an interesting resource in order to make the abstract seem more concrete, and to make the complex seem more straightforward. They can help in the learning of scientific models, and also they could contribute to developing the modeling thought of the students. In other words, they are a useful tool for science learning, as well for improving procedural knowledge, attitudes and epistemologic commitments related with modeling processes. From this point of view, the nature and function of the analogies in science education and modeling, are analyzed here on the basis of Justi and Gilbert (2002) studies: (a) learning models through the analogies the teacher uses; (b) learn to use models applying the analogies learned; (c) learning how to revise models by the critical use of analogies; (d) learning the reconstruction of models through the development of guided analogies; and (e) learning to construct models de novo by creating self-generated analogies.

The analysis is not only useful in order to justify the value of analogies in modeling. It's also interesting in order to make an itinerary for developing of the use of analogies by students and teachers:

i. Learn analogies presented by the teacher or the textbook.

ii. Use analogies to draw conclusions or make predictions about phenomena.

iii. Establishing the limits of the validity of the analogy.

iv. Reconstruction of analogies proposals partly by the teacher, which students complete and interpret in a guided manner.

v. Creating self-generated analogies, and then using them and evaluating.

Finally, some implications for teaching and teacher education are discussed.