

# Aportaciones de las analogías al desarrollo de pensamiento modelizador de los alumnos en química

José María Oliva<sup>1</sup> y María del Mar Aragón<sup>2</sup>

## ABSTRACT (Contribution of analogies to develop modeling thought of chemistry students)

First, in this work the importance of models and modeling processes in teaching and learning science, in general, is discussed. Second, it is also analyzed the contribution of analogies to the modeling thought of students in relation to chemical change. Cases and examples are presented that expect to illustrate the usefulness of this resource in the comprehension of the taught models, in the management and use of the learned models and in the development of a better fitted view of the nature and role of models in science.

**KEYWORDS:** Analogies; Chemical Education; Modelling; Models In Chemistry; Modelling Thought.

## Introducción

Los modelos ocupan un lugar sustancial en el currículo de ciencias, en general, y de química, en particular (Caamaño, 2007). De hecho, éste suele estructurarse adoptando los modelos como claves del repertorio de finalidades y contenidos de la enseñanza; y en coherencia con ello, se considera importante que los alumnos aprendan modelos, sepan cómo aplicarlos y desarrollen las competencias necesarias para ser capaces de (re)construirlos.

Junto a ellos se encuentran las analogías, recurso frecuente del lenguaje y de la intuición al que solemos apelar en distintos contextos de nuestras vidas, cuando queremos comunicar ideas o resolver problemas y carecemos de conocimientos sobre un tema, lo que nos lleva a usar ciertos giros en el lenguaje, como metáforas, alegorías, o frases del tipo “*es similar a*” o “*es una especie de*”. Multitud de expresiones del lenguaje, de refranes, de proverbios e, incluso, de anuncios publicitarios hacen uso de ellas porque conectan fácilmente con el saber popular y la forma de conocer de las personas.

Entre las múltiples definiciones encontradas sobre lo que son analogías (Fernández, Martín y Moreno, 2005), nos quedaremos con dos que nos parecen complementarias y que aluden a facetas fundamentales del significado que le atribuimos en este artículo:

“Entendemos por analogía aquellos aspectos del discurso explicativo del profesor en los que se usa una situación fa-

miliar para explicar un fenómeno poco familiar” (Dagher y Cossman, 1992).

“...se refiere a comparaciones de estructuras entre dos dominios” (Duit, 1991).

La primera definición pone el énfasis en su papel como recurso didáctico para las clases de ciencias, ya que, en efecto, éstas son utilizadas con cierta frecuencia por el profesor y los libros de texto. Mientras tanto la segunda se centra en la naturaleza de la comparación, que consiste en la similitud entre estructuras, esto es de relaciones concepto-concepto o concepto-atributo, y no meramente de semejanza entre los conceptos y atributos que intervienen en ella.

Hoy día son muchos los trabajos que conectan el ámbito de los modelos con el de las analogías, y prueba de ello es la concurrencia de ambos temas en este mismo número de la revista. Así, el uso de analogías aparece ligado normalmente en la literatura al aprendizaje en el ámbito conceptual, por ejemplo, como ayuda en la comprensión y desarrollo de las nociones abstractas que manejan los modelos o como recurso dirigido a cambiar las ideas intuitivas ya existentes por las ideas basadas en los modelos de la ciencia escolar (Posner *et al.*, 1982; Brown y Clement, 1989; Treagust *et al.*, 1992; Lawson, 1993; Brown, 1994; Clement, 1993; Duit, 1991, 1996; Dagher, 1994; Ceacero, González-Labra y Muñoz-Trillo, 2002). 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). 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 motivacionales.

<sup>1</sup> Departamento de Didáctica. Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Cádiz, España.

Correo electrónico: josemaria.oliva@uca.es

<sup>2</sup> Instituto de Educación Secundaria “Drago”. Cádiz, España.

Correo electrónico: mmaragon@hotmail.com

En este sentido, muchas de las capacidades que exige la tarea de modelización, podrían ser desarrolladas a partir de un uso apropiado de las analogías en la clase de ciencias. Ésta es la hipótesis central que orienta gran parte del trabajo que desarrollamos en la actualidad, el cual se dirige a analizar, fundamentar, ejemplificar y contrastar la contribución del aprendizaje por analogía al pensamiento modelizador de los alumnos en química. O dicho de otro modo, se dirige a mostrar el interés de las analogías no sólo como instrumento de transposición didáctica de las ideas que manejan los modelos de la ciencia escolar, sino también de los procedimientos, actitudes y valores relacionados con la actividad científica de modelización (Oliva y Aragón, en prensa).

### **El aprendizaje con analogías y el pensamiento modelizador de los alumnos en química**

Los modelos juegan un papel esencial en la ciencia, en el currículo de ciencias y en el aprendizaje de los alumnos. De una parte, han sido claves en la evolución histórica del pensamiento científico, así como en la estructura de las teorías actuales y en los métodos de investigación (Gilbert, 1993; Halloun, 1996; Gilbert, Boulter y Rutherford, 1998; Nersessian, 1999). De hecho, para la mayor parte de autores los modelos son instrumentos mediadores entre la realidad y la teoría (Morrison y Morgan, 1999; Halloun, 2007; Silva, 2007; Portides, 2007), pudiéndose considerar, junto a las hipótesis y a los fenómenos que explica, la base de las teorías científicas (Giere, 1990). Desde el punto de vista educativo, los modelos tienen también un papel primordial en la enseñanza de las ciencias (Halloun, 2004; 2007), mediatizados por un proceso de transposición didáctica (Archer, Arcà y Sanmartí, 2007) que conduce a lo que algunos autores denominan *modelos enseñados* o *“teaching models”* (Gilbert, Boulter y Rutherford, 1998; 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), *modelos curriculares* (Justi, 2006) o *modelos didácticos* (Viau *et al.*, 2008). En este marco, determinados recursos como las maquetas, los símiles, las analogías, las simulaciones, las paradojas, los experimentos mentales, etc., actúan como mediadores entre los modelos y la comprensión previa de los alumnos acerca del mundo, y son lo que Gilbert, Boulter y Rutherford (1998) denominan *“modelos para la enseñanza”* (ver igualmente Justi, 2006).

Tanto para el científico como, sobre todo, para el alumno, modelizar resulta un proceso complejo que exige toda una gama de competencias (Lopes y Costa, 2007). Además de conocimiento sobre el dominio específico, demanda 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; Portides, 2007). Así, de una parte, comporta una serie de procesos y de habilidades que están en estrecha relación con los componentes del ciclo de investigación. Desde esta perspectiva, Justi y Gilbert (2002) han propuesto un modelo para el hecho

de modelar integrado por 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. Por ejemplo, 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 posibilidad 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 *et al.* (1991) resaltan además el valor de los modelos como intentos imaginativos de representar la realidad, más que como copias exactas de la misma, mientras Harrison y Treagust (2000a,b), de un lado, e Ingham y Gilbert (1991), de otro, 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.

Según todo esto, un aspecto importante de la enseñanza de la química debería ser enseñar a los alumnos las competencias necesarias para el acto de modelización (Harrison y Treagust, 2000b; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2005), dado que éstas 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 necesarios para aplicar y evaluar modelos, o incluso para poder (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. Así, por ejemplo, Halloun (2007) distingue cuando se ha de construir un modelo nuevo, o si solamente se exige el desarrollo y aplicación de un modelo ya construido para resolver problemas racionales y empíricos y para desarrollar conocimiento. Por su parte, Justi y Gilbert (2002) proponen una clasificación más fina, estableciendo además una jerarquía en orden de menor a mayor complejidad de acuerdo al esquema propuesto en la tabla 1.

La competencia del estudiante ante cualquiera de estas tareas requeriría 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 modelización.

**Tabla 1.** Niveles de complejidad para la labor de modelización, 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.                         |

En definitiva, el razonamiento basado en modelos exige 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). Como señala Halloun (2007), el esquema de modelización (modeling schemata) demanda toda una serie de herramientas y reglas cognitivas que posibiliten desarrollar y aplicar modelos ya conocidos, o construir y corroborar modelos nuevos.

Por nuestra parte, como señalábamos en un estudio anterior (Oliva y Aragón, en prensa), hablamos de pensamiento modelizador para referirnos al 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 de que, llegado el caso, dispusiesen de las habilidades y actitudes necesarias para elaborar modelos nuevos (Justi y Gilbert, 2002; Justi, 2006). 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.

El papel de las analogías en este ámbito ha sido descrito y fundamentado detenidamente en Oliva y Aragón (en prensa). Con dicho propósito, recurrimos a la jerarquía propuesta en la

tabla 1 para interpretar en qué consiste el acto de modelar (Justi y Gilbert, 2002). En este trabajo retomaremos dicho análisis, ilustrándolo mediante ejemplos concretos extraídos de una propuesta didáctica que hemos elaborado sobre la enseñanza del cambio químico para alumnos de educación secundaria (9º grado), y que en la actualidad es objeto de investigación mediante su aplicación sistemática con alumnos de ese nivel.

El hecho de elegir la noción de cambio químico como blanco de estudio responde a varios motivos. En primer lugar, dicha noción constituye uno de los núcleos estructurantes de la enseñanza de la química tanto a nivel de la educación secundaria como universitaria (Garritz, 1998; Reyes y Garritz, 2006). En segundo lugar, supone un ámbito de aprendizaje que presenta un importante grado de complejidad (Chamizo, Nieto y Sosa, 2002; Gómez Crespo, Pozo y Gutiérrez, 2002), por cuanto su comprensión exige un estudio complementario y paralelo a distintos niveles de modelización: macroscópico, submicroscópico y simbólico (Johnstone, 1982; Solsona, Izquierdo y de Jong, 2003). Finalmente, los alumnos disponen, ya antes de empezar, de modelos explicativos espontáneos desarrollados para visualizar la materia y sus cambios (Trinidad-Velasco y Garritz, 2003), normalmente basados en explicaciones descriptivas macroscópicas (Andersson, 1990), o en el mejor de los casos de carácter discontinuo submicroscópico, pero en los que se proyectan propiedades y atributos del mundo macroscópico sobre el nivel atómico-molecular (Gómez Crespo y Pozo, 2004).

Dentro de este marco, la tabla 2 muestra de forma resumida la naturaleza de las ideas centrales que se pretendía desarrollar en torno al modelo de materia y de cambio químico en nuestra propuesta. Mientras tanto, los apartados que siguen servirán para ilustrar el tipo de competencias modelizadoras que pretendíamos desarrollar en los estudiantes y algunas de las tareas planteadas con objeto de materializarlas a través de analogías. La secuencia de actividades se inspiró en el esquema de modelización propuesto por Justi y Gilbert (2002),

**Tabla 2.** Nivel de conceptualización esperado en el desarrollo de la unidad.

<b>Cambio químico</b>	En las transformaciones químicas las sustancias cambian; hay sustancias que desaparecen mientras otras aparecen, lo que se puede verificar a través del análisis de las propiedades características de las sustancias. Este cambio se interpreta como una ruptura de las moléculas de los reactivos cuyos átomos se unen de forma diferente originando nuevas moléculas.
<b>Modelo atómico</b>	Las moléculas están formadas por partículas más pequeñas denominadas átomos. En la naturaleza existe aproximadamente un centenar de átomos diferentes denominados elementos.
<b>Sustancia elemental</b>	Las sustancias elementales, que no pueden descomponerse, están formadas por un solo elemento.
<b>Compuesto químico</b>	Los compuestos químicos, que pueden descomponerse, están formados por más de un elemento.
<b>Fórmula química</b>	La fórmula química de un compuesto indica la proporción en la que se combinan los átomos al formar el compuesto o el número de átomos de cada tipo que forman una molécula.
<b>Modelo de las colisiones</b>	Para que una reacción se produzca las partículas que forman los reactivos deben chocar eficazmente entre sí. Los choques son eficaces cuando: <ul style="list-style-type: none"> <li>– en las colisiones entre las partículas se pone en juego la energía suficiente para que las moléculas se rompan y,</li> <li>– las colisiones suceden con la orientación adecuada para que se formen uniones nuevas.</li> </ul>
<b>Ley de conservación de la masa</b>	En una reacción química la masa de los reactivos es la misma que la masa de los productos, lo que se interpreta como la constancia en el número de átomos totales.

y dentro de la misma las analogías jugaron un papel central en el desarrollo y aplicación de las ideas manejadas. Este trabajo no intenta describir de forma detallada la propuesta didáctica diseñada, ni los resultados con ella obtenidos, aspectos que serán tomados como focos de atención en trabajos futuros. Su propósito es simplemente justificar y ejemplificar el papel que las analogías en el diseño de actividades que orientadas a desarrollar competencias relacionadas con la actividad de modelización.

### Aprender modelos de la química a través de las analogías que introduce el profesor

Un primer contacto con la actividad de modelar en química es la que lleva a cabo el alumno cuando aprende los modelos enseñados que forman parte del currículo. En este sentido, el lenguaje de los modelos y las imágenes que se utilizan para representarlos están repletos de procesos analógicos, 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; Raviolo y Garritz, 2007). Por ejemplo, el establecimiento de la teoría cinética de los gases supuso una analogía entre las moléculas y el comportamiento de “esferas rígidas”, mientras que la formulación de las primeras clasificaciones periódicas encontró fundamento en la comparación realizada por Newlands entre las propiedades de los elementos químicos y la secuencia y repetición de notas musicales. También en el marco escolar dicha relación modelo-analogía es patente. Así, cuando utilizamos en las clases de ciencias un modelo molecular de bolas, 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 (Oliva *et al.*, 2003). Logramos con ello estimular el pensamiento analógico de los alumnos y que éstos imaginen lo que nunca han visto en función de lo que ya conocen y/o pueden ver y tocar (Justi y Gilbert, 2006). Estimamos, pues, que cuando se insta a que los alumnos interioricen las analogías que se les presentan, no sólo se está dando ocasión de comprender mejor los objetos representados, sino que también se está contribuyendo a desarrollar en ellos procedimientos, actitudes y compro-

misos epistemológicos análogos a los que exigen los propios procesos de aprendizaje de modelos.

En el caso particular de la representación analógica de las sustancias y de los cambios químicos se han propuesto diferentes análogos procedentes de la vida cotidiana para representar las unidades atómicas, como grapas y anillos (IPS, 1973), tuercas y tornillos (Fernández-González, 1979), o clips (Balocchi *et al.*, 2005ab, 2006), entre otros muchos. En nuestra propuesta se recurre también a una cierta variedad de análogos para representar los sistemas con los que se trabaja. Así, para representar los átomos se emplean piezas del lego, fichas circulares de colores, frutas o bolas de plastilina; para visualizar moléculas se usan piezas del lego encajadas, fruteros o bolas de plastilina adheridas, y para representar el cambio químico se recurre a la reorganización de las unidades componentes de estos sistemas.

El hecho de adoptar más de una analogía para representar un mismo objeto constituye un factor que suele contribuir a un mejor aprendizaje en los alumnos, propiciando 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). Cada uno de los análogos empleados serviría para resaltar y acotar las facetas relevantes del modelo que se pretende ilustrar aun cuando, ni siquiera, los alumnos sean conscientes de ello.

Por ejemplo, una analogía esencial en la propuesta didáctica que hemos confeccionado consiste en la comparación del proceso de cambio a nivel atómico con el reordenamiento de piezas en el juego del lego (figura 1). Se trata de mostrar con ella la posibilidad de cambiar la estructura de una construcción al reorganizar las unidades que lo forman, de forma análoga a cómo los átomos se separan y se unen de nuevo, aunque de distinta forma, durante una reacción química.

Al objeto de promover una actitud participativa de los alumnos en la gestación de la analogía, y tras un breve texto escrito a través del que se presenta la comparación, se pide a éstos que expresen qué entienden a partir de la misma, valiéndose para ello de un mapa conceptual (figura 2). Se trata de que los alumnos expresen relaciones en uno y otro dominio, a la vez que correlacionan elementos de ambos dominios entre sí.



(a)



(b)



(c)

Figura 1. Imagen de alumnos trabajando con distintos análogos de átomo y molécula.

•Completa los siguientes mapas:

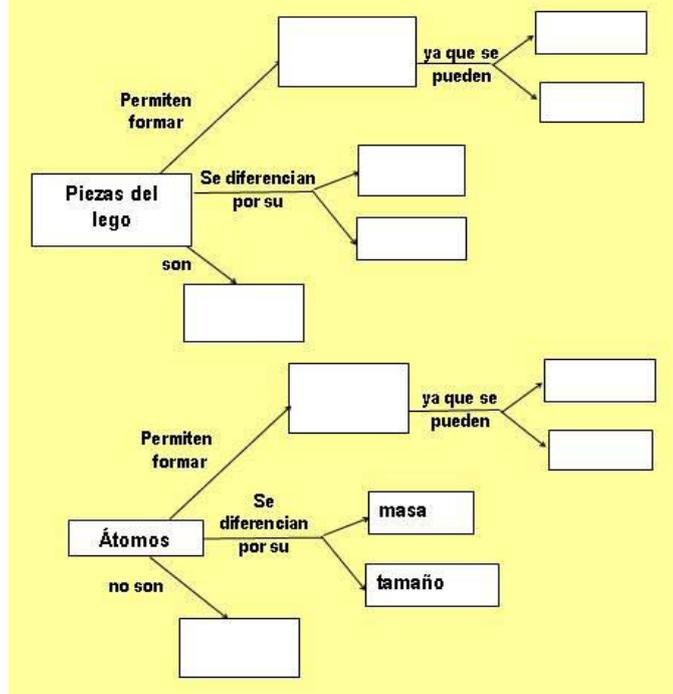


Figura 2. Actividad planteada para que los alumnos completasen las relaciones implicadas en la analogía del lego.

Uno de los propósitos de la propuesta didáctica consiste en que los estudiantes conozcan y comprendan cada una de las analogías presentadas. Es decir, la asimilación de cada una de ellas constituye en cierto modo un propósito de la unidad, dado que se espera que con ellas los alumnos alcancen una mejor conceptualización de la noción de cambio químico. No obstante, ninguna de las analogías abordadas se presenta directamente, con todos sus detalles, mediante estrategias de transmisión-recepción de conocimientos, sino que se plantean en el contexto de actividades que los alumnos han de resolver, con una estructura más o menos directiva según el caso. Ello da pie a que los alumnos tengan que movilizar o incluso construir las relaciones que en ellas se manejan, lo cual supone una oportunidad de desarrollar competencias de pensamiento “análogas” a las implicadas en los procesos de modelización científica, como tendremos oportunidad de ver.

A partir de aquí, un segundo nivel de modelización científica 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 explicar fenómenos y 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.

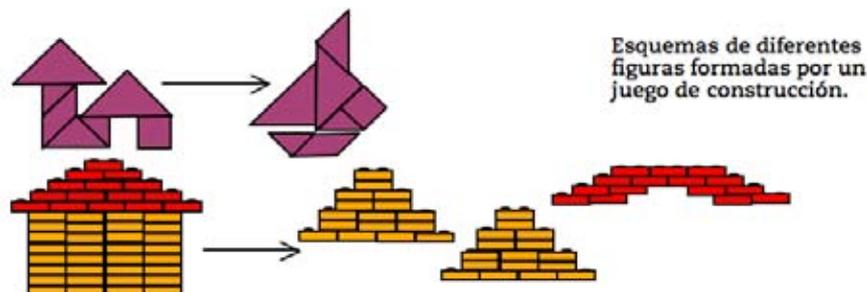
**Aprender a usar modelos aplicando las analogías aprendidas**

Con vistas al aprendizaje de las habilidades que demanda los procesos de modelización, las analogías pueden resultar también útiles si se plantean como ocasión para que los alumnos realicen predicciones sobre un determinado fenómeno o lo interpreten a un nivel figurativo, a modo de primera aproximación. De hecho, puede ser interesante la formulación y evaluación de predicciones, como forma de comprobar 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 figura 3 muestra una actividad específica planteada desde esta perspectiva al objeto de abordar la conservación de la masa en una reacción química. Se continúa con la analogía del lego y se introduce otra similar, esta vez con fichas del juego del “tangram”, mostrando cómo un cambio o reorganización en el modo en el que están unidas las piezas no debe implicar cambios en la masa total del sistema. Ello sirve como forma de explicar la conservación de la masa en los procesos químicos.

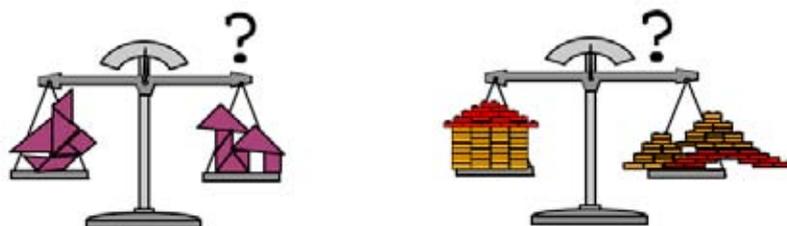
Otra forma de comprobar la plausibilidad de los modelos es mediante la realización de experimentos mentales y simulaciones, que también forman parte del repertorio de recursos empleados a menudo por los científicos. En este sentido, analogías, experimentos mentales y simulaciones, aun siendo recursos distintos, mantienen numerosos vínculos y relaciones comunes, componiendo todos ellos 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 en 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. Así mismo, en ocasiones, los experimentos mentales se acompañan de fantasías alegóricas próximas al razonamiento análogo. Por su parte, las simulaciones constituyen modelos dinámicos a través de los que se recrea de un modo análogo cierto suceso o fenómeno. Mientras los experimentos mentales se realizan sólo de manera imaginaria, las simulaciones se ejecutan de un modo físico, recreándose no necesariamente en tiempo real.

La figura 4a muestra un ejemplo de tarea planteada en nuestra propuesta desde esta perspectiva, mientras que la figura 4b presenta una instantánea con alumnos trabajando en

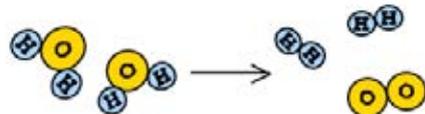
- El estudio de situaciones análogas nos puede ayudar a elaborar una respuesta. Dispones de un objeto construido con piezas de un juego de construcción.



Construye un objeto diferente con las mismas piezas. ¿Qué relación existirá entre el peso de estos objetos?



¿Qué ocurrirá en un cambio químico?



**Figura 3.** Actividades análogas para la interpretación de la conservación de la materia.

la resolución de la misma. Como vemos, éstos debían de simular la reacción de descomposición del agua mediante fichas que representan los átomos, primero mentalmente y, más tarde, en formato real mediante un modelo análogo. Los fundamentos y los códigos de representación habían sido ya introducidos en actividades anteriores por lo que aquí únicamente se trataba de aplicarlos para visualizar la reacción química planteada.

En suma, 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 al conocimiento sobre el mundo y, a la larga, como forma de desarrollar posicio-

nes críticas que desemboquen en procesos de revisión y de cambio conceptual.

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.

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

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). El hecho de diferenciar los rasgos útiles de una analogía y sus límites de aplicación resulta 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). Ello, evidentemente exige el uso de estrategias y destrezas metacognitivas (Coll, France y Taylor, 2005), de ahí la oportunidad que supone este tipo de ocasiones para desarrollar esos mismos procesos y habilidades.

Se comprende de todo ello el interés de numerosos auto-

<p>• La electrólisis del agua se representa:          agua (l) → dihidrógeno (g) + dióxígeno (g),</p> <p>o bien mediante la ecuación:</p> $2 \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow 2 \text{H}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g})$ <p>Indica el significado de cada una de las cifras que aparecen en la ecuación anterior y simula la reacción química haciendo uso de un modelo mecánico.</p> <p style="text-align: center;">(a)</p>	 <p style="text-align: center;">(b)</p>
---	---

**Figura 4.** Tarea de representación y simulación del proceso de combustión de carbón.

res 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. De esta forma visto, el hecho de que una analogía falle no debiera considerarse como un problema, sino como una oportunidad especial de implicar cognitivamente al alumno en el proceso de transferencia analógica (Heywood, 2004).

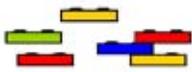
Asimismo, y como ya se sugirió antes, la toma de conciencia y la aceptación de las limitaciones que tienen las analogías podrían ser de utilidad para comprender las limitaciones y el carácter aproximativo de los modelos científicos. Se superaría con ello los problemas a los que autores como Ben-zvi y Gemut (1998) aluden, cuando reconocen que los alumnos suelen aprender los modelos y teorías científicas como descrip-

ciones o leyes absolutas de la realidad, 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 la 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.

Ésta es la razón por la que, a lo largo de la propuesta, sea frecuente el que los alumnos establezcan semejanzas y diferencias entre el objeto y el análogo de cada comparación. Por ejemplo, se cuestiona acerca de las diferencias entre las piezas del lego y los átomos (figura 5), como también entre las moléculas y fruteros utilizados para introducir la noción de fór-

Los dibujos representan piezas del lego y diferentes figuras formadas por las piezas del lego. Señala las semejanzas y diferencias entre las piezas del lego y los átomos y la formación de diferentes figuras con los cambios químicos.

	Piezas del lego	Átomos
Semejanzas		
Diferencias		

**Figura 5.** Estudio comparativo entre las piezas del lego y los átomos como base de la representación del cambio químico.

Analogía de las bolas de plastilina	<b>Análogo:</b> Modelo mecánico 	<b>Objeto:</b> Cambio químico, modelo de colisiones 
	<p>Inicialmente hay una bola blanca y una azul unidas y una bola azul aislada. Si se agita el sistema, tras una o varias colisiones la bola azul y blanca se separan, y cuando la orientación es la adecuada, las bolas azules, que tienen en su interior imanes, se unen con más intensidad que las primeras.</p>	<p>Las moléculas de los reactivos colisionan, cuando el choque se produce con la energía y orientación adecuadas, las moléculas se rompen y los átomos que las forman se unen de manera diferente, formando nuevas moléculas más estables que las iniciales.</p>

**Figura 6.** Analogía para representar el movimiento y choques de moléculas durante el cambio químico, y para la que los alumnos debían de establecer limitaciones

mula química como representación de la composición molecular de las sustancias. A modo de ejemplo mostramos la comparación encontrada en el portafolio por una de las alumnas participantes:

“Los legos son indivisibles, tienen diferente forma y color y forman diferentes figuras ya que se pueden montar y desmontar. Los átomos permiten formar nuevas sustancias. Se diferencian por su masa y tamaño y no son indivisibles”.

Otro ejemplo de ocasión dirigida en nuestra propuesta a que los alumnos evalúen los límites de una analogía, al mismo tiempo que realizan una nueva simulación, la encontramos en el uso de bolas de plastilina que chocan para representar una reacción química (figura 1c). La figura 6 muestra con cierto detalle la base de la comparación. Un ejemplo de divergencia entre ambos sistemas lo tenemos en la diferente naturaleza de las fuerzas de unión, que en el caso de las bolitas de plastilina es debida a la adhesión de la plastilina y a la acción del imán, mientras que en el otro está originada por las interacciones entre átomos que dan lugar al enlace químico.<sup>1</sup> Otra diferencia la encontramos en la desigual procedencia del movimiento de agitación, en el primer caso provocado desde el exterior mientras que en el segundo resulta intrínseco a los componentes del sistema.

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.

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

Además de emplearse como instrumento para la revisión o crítica de los modelos asumidos por la comunidad científica, Nersessian ha fundamentado el papel de las analogías y del razonamiento análogo en los procesos de inspiración creativa que preceden a los procesos de cambio conceptual (Nersessian, 1992, 1999). 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.

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 análogo conlleva la aplicación y desarrollo de mecanismos muy próximos a los que requiere la actividad de modelización científica (Oliva, 2004). En efecto, el aprendizaje mediante analogías conlleva actividades como analizar, comparar, relacionar, sintetizar, diferenciar, etc., todas ellas claves dentro del repertorio habitual de destrezas del currículum 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 la que los alumnos pasan a jugar un papel importante en su proceso de elaboración. Se ha llegado a plantear, de esta manera, la posibilidad de que la analogía surja de la exploración interactiva entre el alumno y

<sup>1</sup> En el fondo, como sabemos, en ambos casos la naturaleza de las uniones es de tipo electromagnético. No obstante, estimamos que, tal vez, sea prematuro en este nivel adelantar tal circunstancia, dado el diferente estatus ontológico de las interacciones en ambos casos, aun siendo de igual naturaleza desde el punto de vista físico actual.

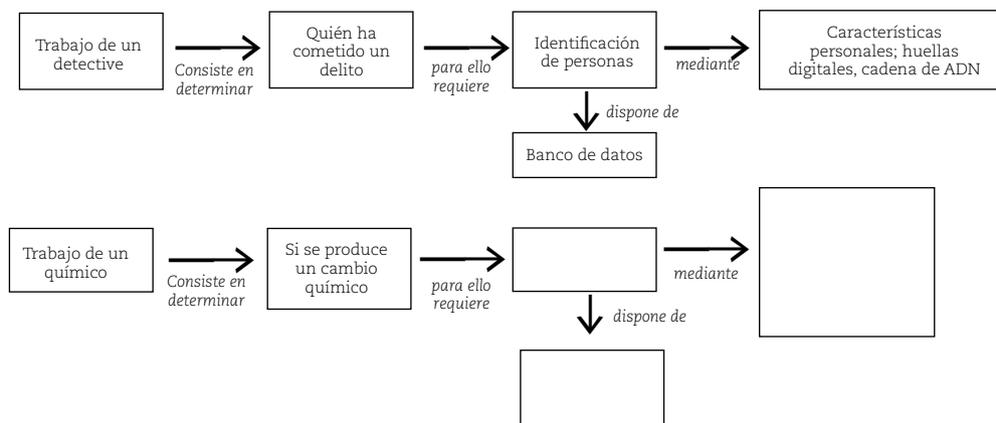
el profesor, concibiéndola como el resultado de un proceso de construcción negociada en el que los alumnos participan y son también sus protagonistas (Cachapuz, 1989; Brown y Clement, 1989; Dagher, 1995a; Oliva, 2001; Yerrick *et al.*, 2003).

Una de las formas de plantear actividades de reconstrucción de analogías, propiciando que los alumnos aporten ideas y tomen decisiones de forma guiada por el profesor, es mediante la propuesta de algún de símil o de una metáfora que los alumnos han de completar. Hemos de aclarar que símiles y metáforas son, por así decirlo, maneras implícitas de plantear analogías. Si se expresan explícitamente todos los elementos de la comparación, estamos ante una analogía propiamente dicha, por ejemplo: “el electrón es al núcleo del átomo lo que un planeta es al Sol” (Gilbert, 1989; Dagher, 1995b). Pero si no se explicitan todos los elementos, estamos ante un símil o una metáfora (Gilbert, 1989; Duit, 1991). La diferencia entre estos últimos es bastante sutil, mientras en los símiles la relación que se efectúa es únicamente de comparación: “los

electrones son como planetas”; en las metáforas se llega a establecer una identificación aunque sólo sea en un sentido figurado: “los electrones son los planetas del átomo” (Gilbert, 1989).

Un ejemplo de actividad de este tipo se propone al principio del desarrollo de la propuesta didáctica, cuando iniciamos a los alumnos en la diferenciación entre cambio químico y cambio físico a un nivel fenomenológico. Concretamente se plantea la actividad que recoge la figura 7, en la que los alumnos deben de (re)construir una analogía entre el proceso que siguen los químicos para identificar unos y otros cambios, y la labor de un detective para identificar personas en una investigación policial. Del mismo modo que en este último han de utilizarse las características personales de posibles sospechosos disponibles en un banco de datos, que se contrastan con las presentes en el escenario de la investigación, en el caso de los químicos se comparan las propiedades características de las sustancias que intervienen en un fenómeno con las que aparecen tabuladas en bases de datos, para ver si las sustancias

- Averiguar si una transformación consiste en un cambio químico se asemeja al trabajo de investigación de un detective cuando pretende determinar la presencia o no de ciertas personas en un lugar. Completa el mapa conceptual sobre el cambio químico a partir del anterior y explica las semejanzas y diferencias entre ambos procesos.

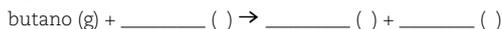


- Los cambios observados en los procesos anteriores, ¿indican la desaparición de sustancias y la aparición de otras?
- Completa las siguientes representaciones referidas a los procesos anteriores. Indica cuáles son los reactivos y cuáles los productos en cada uno de los procesos:

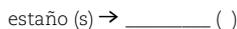
Descomposiciones



Combustión



Cambio de estado\*



- ¿Cómo se identifican los cambios químicos?

\* Se incluye este cambio físico como proceso de contraste con respecto a los procesos químicos anteriores.

**Figura 7.** Ejemplo de actividad de (re)construcción activa por parte de los alumnos de la analogía entre el trabajo de un químico y de un detective.

son las mismas antes y después. Como puede comprobarse, la analogía sugerida no se presenta directamente sino que son los alumnos los que han de completarla valiéndose de un mapa conceptual. Para facilitar la labor del alumno, el mapa conceptual correspondiente al objeto (identificación de sustancias en el cambio químico) y al análogo (identificación de personas en una investigación policial) se plantearon con una estructura común.

La figura 8 muestra otra secuencia de actividades extraídas de nuestra propuesta didáctica, a través de la cual se intenta inducir en los alumnos la idea de fórmula química y su valor para representar la composición molecular de una sustancia y a la propia sustancia. Como puede apreciarse, la analogía entre moléculas y fruteros es presentada a través de una metáfora visual. No obstante, la correlación de tópicos procedentes de ambos no se hace explícita, sino que han de ser los alumnos los que la (re)construyan. Si bien la analogía sugerida es cerrada —solo parece preverse una sola interpretación— se deja espacio para que, a través de la discusión y el debate, los alumnos la completen y la utilicen para entender la composición molecular de las sustancias puras y el significado de la fórmula en una sustancia molecular.

En este caso, como puede verse, el formato utilizado es bien diferente, dado que en él no nos valemos de mapas conceptuales sino de cuestiones problemáticas. Se demanda primero el uso de lenguaje simbólico propuesto por los alumnos para representar la composición de fruteros. Se solicita después posibles semejanzas y diferencias entre moléculas y fruteros. Finalmente se induce a escoger “la fórmula” de un solo frutero como representante del conjunto de varios, cuando éstos son iguales, del mismo modo —y ésta sería la conclusión a

trazar— que una sustancia pura es representada mediante la fórmula química de una sola de las moléculas que la compone.

Puede observarse tanto en la figura 7 como en la 8, que las analogías implicadas son presentadas sólo de forma implícita, de modo que son los alumnos los que han de desarrollarlas identificando los elementos específicos y las relaciones y correspondencias que sirven para sustentarlas.

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.*, 2001). 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 debiera ser un proceso monitorizado por el profesor (Dagher, 1995b; Jarman, 1996; Oliva, Azcárate y Navarrete, 2007) 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 guía-

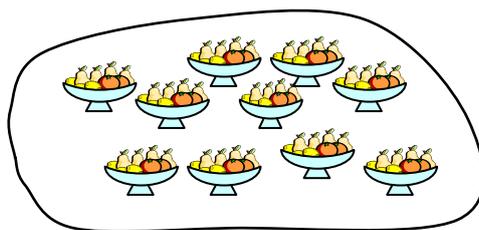
---

Desde el punto de vista de la teoría atómica, consideramos que las sustancias elementales están formadas por un solo tipo de átomo, un solo elemento, mientras que los compuestos están formados por más de un elemento. Nuestro problema es ahora representar la composición de las sustancias elementales y de los compuestos químicos a partir del modelo atómico.

- Representa mediante símbolos los siguientes sistemas:



- Indica las semejanzas y diferencias entre los fruteros y las moléculas.
- Compara la composición del conjunto dibujado, con la composición de los compuestos químicos. Establece semejanzas y diferencias.



**Figura 8.** Actividad de (re)construcción de la analogía entre frutas/fruteros y átomos/moléculas, como forma de representación de la noción de fórmula química.

dos 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 fronteras de la ciencia, constituye una labor que compete 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 postgrado.

Históricamente, si analizamos la producción de figuras como Kepler, Newton, Maxwell, Kekulé, 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.). En el caso particular de la química, además de algunos ejemplos ya citados como el de Newlands o el de Rutherford, podemos referirnos a la similitud encontrada por Mayer entre la energía adquirida por los cuerpos al caer por gravedad y la que los gases adquieren por compresión, al paralelismo apreciado por Van't Hoff entre las partículas de soluto de una disolución y las de un gas ideal, o a la analogía imaginada en sueños por Kekulé entre la estructura cíclica del benceno y serpientes que se muerden la cola.

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, o simplemente comunicar ideas novedosas sobre la base de conocimientos y asentados y admitidos por la comunidad científica. En general, el uso de analo-

gías 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 el pensamiento crítico, la creatividad y la imaginación (Lawson, 1993). Si en los casos expuestos en el apartado anterior los alumnos deben reconstruir analogías incompletas ya previstas por el profesor, en estos otros los alumnos exponen las suyas propias sin que tengan por qué guardar correspondencia con las que tenga en mente el profesor. De ahí que consideremos que, en esta ocasión, los alumnos van a poner en juego estrategias de modelización próximas en su forma, aunque no en su contenido, a las que requieren los procesos de modelización científica en el conocimiento frontera. 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 la propuesta didáctica que hemos elaborado, también se ofrece algunas ocasiones para que los alumnos inventen sus propias analogías. De este modo, y a través de un diálogo mediado por el profesor en el que intervinieron todos los alumnos, se plantea que los estudiantes propongan objetos que puedan transformarse en otros del mismo modo que las moléculas de los reactivos se transforman en otras moléculas durante el cambio químico. Algunos alumnos, guiados por determinadas preguntas hechas por el profesor, son capaces de proponer analogías y de producir una transferencia de conocimientos desde el análogo al objeto de estudio. Algunos de los análogos que suelen citar los alumnos son el caso de un sofá cama, los cochecitos de los bebés, las cunas que se convierten en camas o los sillones del tren cama. Como puede apreciarse, los conocimientos cotidianos con los que cuentan los alumnos suponen la piedra angular que hace posible las comparaciones, lo que viene a demostrar, una vez más, que no todo el conocimiento intuitivo constituye una rémora para el aprendizaje, sino todo lo contrario.

### **Conclusiones e implicaciones para la enseñanza y para la investigación**

A raíz de todo lo expuesto, estimamos que las analogías constituyen una herramienta importante no sólo para el aprendizaje de conceptos, sino también para el desarrollo de las capacidades necesarias para los procesos de modelización científica. Tanto asimilar, usar o evaluar los modelos enseñados

dos, 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 el ámbito particular del cambio químico, las analogías desarrolladas por el profesor y/o por los propios alumnos a instancias de éste, permiten trabajar en el aula mecanismos de razonamiento semejantes a los implicados en los procesos de modelización científica. Tanto el aprendizaje y el trabajo a partir de analogías planificadas con el profesor, como la revisión y cuestionamiento de las analogías conocidas o la (re) construcción de otras nuevas, incluyen procesos y actitudes similares a las que exigen los procesos de modelización científica, según los niveles establecidos por Justi y Gilbert (2002) (ver figura 1).

No obstante, está aún por ver si, en efecto, la propuesta didáctica es capaz de implicar a los alumnos a movilizar las estrategias y actitudes adecuadas en la realización de estas actividades; y si ello tiene algún tipo de repercusión sobre las competencias de modelización de los alumnos. Precisamente, la aplicación de la propuesta con grupos de escolares nos ha permitido obtener datos que estamos analizando en la actualidad al objeto de extraer conclusiones al respecto.

## Referencias

Acevedo, J. A. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: Educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(1), 3-16. En línea en: <http://www.apaceureka.org/revista/Larevista.htm>

Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations, *Studies in Science Education*, 18, 53-85.

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

Balocchi, E. Modak, B., Martínez-M., M., Padilla, K., Reyes, F. y Garritz, A. (2005a). Aprendizaje cooperativo del concepto 'cantidad de sustancia' con base en la teoría atómica de Dalton y la reacción química. PARTE I. El aprendizaje cooperativo. Anexo: Cuadernillo 'La reacción química y su representación'. *Educ. quim.*, 16(3), 469-485.

Balocchi, E. Modak, B., Martínez-M., M., Padilla, K., Reyes, F. y Garritz, A. (2005b). Aprendizaje cooperativo del concepto 'cantidad de sustancia' con base en la teoría atómica de Dalton y la reacción química. PARTE II. Concepciones alternativas de 'reacción química'. Anexo: Cuadernillo 'Masas atómicas relativas de los elementos'. *Educ. quim.*, 16(4), 550-567.

Balocchi, E. Modak, B., Martínez-M., M., Padilla, K., Reyes, F. y Garritz, A. (2006). Aprendizaje cooperativo del concepto 'cantidad de sustancia' con base en la teoría atómica de Dalton y la reacción química. PARTE III. Cantidad de sustancia y su unidad 'el mol'. Anexo: cuadernillo 'Entidades elementales', *Educ. quim.*, 17(1), 14-32.

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), 351-360.

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

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

Caamaño, A. (2007). Modelizar y contextualizar el currículum de química: un proceso en constante desarrollo. En M. Izquierdo, A. Caamaño y M. Quintanilla (eds). *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar*. Universitat Autònoma de Barcelona.

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

Ceacero, J.; González-Labra, M<sup>a</sup>.J. y Muñoz-Trillo, P. (2002). *Aplicaciones de la analogía en la educación*. Sevilla: Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía.

Chamizo, J.A.; Nieto, E. y Sosa, P. (2002). La enseñanza de la química. Tercera parte. Evaluación de los conocimientos de química desde secundaria hasta licenciatura. *Educ. quim.*, 15(2), 108-112.

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), 1241-1257.

Clement, J.J. (1998). Expert novice similarities and instruction using analogies. *International Journal of Science Education*, 20(10), 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 Education*, 27(2), 183-198. 2005.

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

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

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

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

Dagher, Z. y Cossman, G. (1992). Verbal explanation given by science teachers: Their nature and implications. *Journal of Research in Science Teaching*, 19, 361-374.

- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Duit, R. (1996). The constructivist view in science education, what it has to offer and what should not be expected from it. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(1). Disponible en línea en: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/N1/3artigo.htm>.
- Fernández-González, M. (1979). An analogical verification of the discontinuity of matter based on the law of definite proportions. *Journal of Chemical Education*, 56(1), 37.
- 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), 231-242.
- García-Monteiro, I. y Justí, R.S. (2000). Analogías em livros didáticos de química brasileiros destinados ao ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, 5(2). En línea en: [http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n2/v5\\_n2\\_al.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n2/v5_n2_al.htm).
- Garriz, A. (1998). Una propuesta de estándares nacionales para la educación científica en el bachillerato. La corriente Ciencia-Tecnología-Sociedad. *Ciencia* (Academia Mexicana de Ciencias), 49(1), 27-34.
- 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, 63-70.
- Gilbert, S.W. (1989). An evaluation of the use of analogy, simile, and metaphor in science texts. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(4), 315-327.
- Gilbert, S.W. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), 73-79.
- 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., Boulter, C. y Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part 1: Horses for courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), 83-97.
- Gilbert, J.K. y Reiner, M. (2000). Thought experiments in science education: potential and current realization. *International Journal of Science Education*, 22(3), 265-283.
- Glyn, S.M. (1991). Explaining science concepts: A teaching with analogies model. In S.M. Glyn, R.H. Yeany y B.K. Britton (Eds.), *The psychology of learning science*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- Gómez Crespo, M.A. y Pozo, J.I (2004). Relationships between everyday knowledge and scientific knowledge: understanding how matter changes. *International Journal of Science Education*, 26 (11), 1325-1343.
- Gómez Crespo, M.A.; Pozo, J.I y Gutiérrez, M<sup>a</sup>.S. (2002). Enseñando a comprender la naturaleza de la materia: el diálogo entre la química y nuestros sentidos. *Educ. quím.*, 15(3), 198-209.
- 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), 799-882.
- Halloun, I. (1996). Schemata modelling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 1019-1041.
- Halloun, I. (2004). *Modeling Theory in Science Education*. London. Kluwer Academic Publishers.
- Halloun, I. (2007). Mediated modeling in science education. *Science & Education*, 16, 653-697.
- Harrison, A.G. y Treagust, D.F. (2000a). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 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, 352-381.
- Heywood, D. (2004). The place of analogies in science education. *Cambridge Journal of Education*, 32(2), 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), 869-885.
- IPS (1973). *Curso de introducción a las ciencias física*. Reverté. Barcelona.
- 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, 58-60.
- 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), 869-880.
- Johnstone, A.H.(1982). Macro and micro chemistry. *School Science Review*, 64, 295-305.
- Justí, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Justí, 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), 369-387.
- Justí, R. y Gilbert, J.K. (2006). The role of analog models in the understanding of the nature of models in chemistry. En P.J. Aubusson, A.G. Harrison y S.M. Ritchie (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), 369-386.
- Lawson, A.E. (1993). The importance of analogy: a prelude of

- special issue. *Journal of Research in Science Teaching*, **30**(10), 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), 811-851.
- Morrison, M. y Morgan, M.S. (1999). Models as mediating instruments. En M.S. Morgan y M. Morrison (Eds.), *Models as mediators*, pp. 10-37. Cambridge: Cambridge University 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. 3-45.
- Nersessian, N. J. (1999). Model-based reasoning in conceptual change. En L. Magnani, N.J. Nersessian y P Thagard. *Model-base reasoning in scientific discovery*. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York.
- Nersessian, N. J. (2002). Maxwell and "the Method of Physical Analogy": Model-based reasoning, generic abstraction, and conceptual change. En D. Malament (Ed.): *Essays in the History and Philosophy of Science and Mathematics*, 29-166. Lasalle, IL: Open Court.
- Oliva, J.M<sup>a</sup>. (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.M<sup>a</sup> y Acevedo, J.A. (2004). Pensamiento analógico y movimiento de proyectiles. Perspectiva histórica e implicaciones para la enseñanza. *Revista Española de Física*, **18**(4), 56-61.
- Oliva, J.M<sup>a</sup> y Aragón, M<sup>a</sup>M. (en prensa). Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*.
- Oliva, J.M<sup>a</sup>; Aragón, M<sup>a</sup>.M.; Mateo, J. y Bonat, M (2001). Una propuesta didáctica, basada en la investigación, para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, **19**(3), 453-470.
- Oliva, J.M<sup>a</sup>; Aragón, M<sup>a</sup>.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), 429-444.
- Oliva, J.M<sup>a</sup>.; Azcárate, P. y Navarrete, A. (2007). Models of teaching with analogies as a resource in the science classroom. *International Journal of Science Education*, **29**(1), 45-66.
- Oversby, J. (1999). *Assessment of modelling capability*. Second International Conference of European Science Education Research Association. Kiel. Alemania.
- Portides, D.P. (2007). The relation between idealisation and approximation in scientific model construction. *Science & Education*, **16**, 699-724.
- 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**, 211-227.
- Raviolo, A. y Garritz, A. (2007). Uso de analogías en la enseñanza de la química: necesidad de elaborar decálogos e inventarios. *Alambique*, **51**, 28-39.
- Reiner, M. y Gilbert, J.K. (2000). Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *International Journal of Science Education*, **22**(5), 489-506.
- Reyes, F. y Garritz, A. (2006). Conocimiento pedagógico del concepto de "reacción química" en profesores universitarios mexicanos. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, **11**(31), 1175-1205.
- Silva, C.C. (2007). The role of models and analogies in the electromagnetic theor: a historical case study. *Science & Education*, **16**, 835-848.
- Solsona, N. Izquierdo, M. y Jong, O. (2003). Exploring the development of students' conceptual profiles of chemical change. *International Journal of Science Education*, **25**(1), 3-12.
- Stavy, R., y Tirosh, D. (1993). When analogy is perceived as such. *Journal of Research in Science Teaching*, **30**(10), 1229-1239.
- 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), 413-422.
- Treagust, D.F.; Chittleborough, G.D. y Mamiala, T.L (2004). Students' understanding of the descriptive and predictive nature of teaching models in organic chemistry. *Research in Science Education*, **34**, 1-20.
- Trinidad-Velasco, R. y Garritz, R.A. (2003). Revisión de las concepciones alternativas de los estudiantes de secundaria sobre la estructura de la materia, *Educ. quím.*, **14**(2), 72-85.
- Van Driel, J.H. y Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge and modelling in science. *International Journal of Science Education*, **21**(11), 1141-1153.
- Viau, J.E.; Moro, L.E.; Zamorano, R.O. y Gibbs, H.M. (2008). La transferencia epistemológica de un modelo didáctico analógico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, **5**(2), 170-184. En línea en: <http://www.apac-eureka.org/revista>.
- 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), 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), 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), 443-463.