

PENSAMIENTO ANALÓGICO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO MOLECULAR PARA LA MATERIA

Oliva, J.M^{a.}¹ y Aragón, M^{a.}M.²

(1) Instituto de Educación Secundaria "Fuerte de Cortadura". Cádiz. España

(2) Instituto de Educación Secundaria "Drago". Cádiz. España

[Recibido Enero de 2006, aceptado en Mayo de 2006]

RESUMEN (Inglés)

En este trabajo se sintetiza, en primer lugar, un marco teórico desarrollado al objeto de interpretar los mecanismos que operan en el pensamiento analógico en la clase de ciencias. A raíz del mismo se analiza, en segundo lugar, el grado de comprensión alcanzado por los alumnos acerca de las analogías empleadas en clase sobre el modelo cinético-molecular de la materia. Finalmente, en tercer lugar, se estudia la relación existente entre pensamiento analógico y los modelos mentales de los alumnos sobre la estructura de la materia. Los datos obtenidos indican un nivel de comprensión final moderado, aunque aceptable, de las analogías manejadas, así como la existencia de una estrecha relación entre comprensión de analogías y construcción de un modelo cinético-molecular de la materia.

Palabras Clave: Analogías; comprensión de analogías; diseño didáctico; modelos mentales; modelo cinético-molecular; pensamiento analógico.

INTRODUCCIÓN

La investigación realizada en los últimos años sobre concepciones y modelos explicativos de los alumnos ha sufrido un cierto desplazamiento desde enfoques centrados en el cambio conceptual, como proceso radical de ruptura a través de estrategias de conflicto cognitivo, a otros centrados en la idea de cambio como proceso evolutivo y gradual a través de estrategias de "anclaje" al conocimiento previo del alumno y que potencian los procesos de metacognición.

En este contexto, no debe de extrañar que la investigación educativa en el ámbito de las ciencias haya renovado últimamente su interés por el estudio de las analogías como recurso de enseñanza y de aprendizaje, como lo prueba el gran número de publicaciones aparecidas sobre el tema durante los diez o quince últimos años. En efecto, las analogías pueden contribuir a la evolución de los modelos explicativos acerca de un determinado tópico (Posner et al., 1982; Brown y Clement, 1989; Duit, 1991; Treagust et al., 1992; Dagher, 1994; Oliva, et al, 2001), además de constituir

un recurso de interés en el aprendizaje de procedimientos y actitudes del currículo de ciencias (Dagher; 1994; Harrison, 2002, Oliva, 2004).

En esta investigación se analiza el papel del pensamiento analógico en el aprendizaje de aspectos básicos del modelo cinético-molecular de la materia. Para ello, se estudia el grado de comprensión alcanzado por los alumnos acerca de las analogías trabajadas en clase a lo largo de una unidad didáctica que adoptaba las analogías como núcleo vertebrador, y cómo dicha comprensión influyó directamente sobre los modelos mentales construidos acerca de la materia y viceversa.

MARCO TEÓRICO

La figura 1 muestra, de forma gráfica, el marco teórico adoptado en esta investigación a la hora de concebir el aprendizaje por analogía y su papel en la enseñanza de las ciencias.

En el recuadro de la izquierda, etiquetado con la palabra alumno, los modelos que aparecen son modelos mentales (Johnson-Laird, 1983; Holland et al.; 1986; Pozo, 1989; Gutiérrez y Ogborn, 1992; Vosniadou, 1994; Greca y Moreira, 1998, 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 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, Under, Jay y Smith, 1991; Greca y Moreira, 1998; Reiner y Gilbert, 2000; Solsona, Izquierdo y Gutiérrez, 2000).

En el recuadro de la derecha, por su parte, 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 por las comunidades de científicos (modelos científicos) y/o de educadores y divulgadores encargados de hacer llegar esa ciencia a los escolares o al público en general (versiones didácticas de los modelos científicos). En sus distintas versiones, esas representaciones se utilizan para organizar la comprensión del alumno y como base para delimitar un conocimiento escolar deseable que sirve como punto de referencia externo (Justi y Gilbert, 2000). En unas ocasiones, esas representaciones se proporcionan directamente mediante una versión simplificada y adaptada a la edad del modelo científico. En otras, se presentan utilizando recursos e instrumentos retóricos que ayuden a su interiorización, por ejemplo mediante dibujos, maquetas, modelos mecánicos, metáforas, analogías, simulaciones, paradojas, experimentos mentales, etc.

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 representaciones didácticas de esos modelos (Gutiérrez y Ogborn, 1992; Gutiérrez, 1996; Vosniadou, 1994). Es aquí donde situamos a las analogías, como recursos que permiten al alumno construir conocimientos en un

dominio dado a partir de su comprensión sobre otro para él mejor conocido y más familiar.

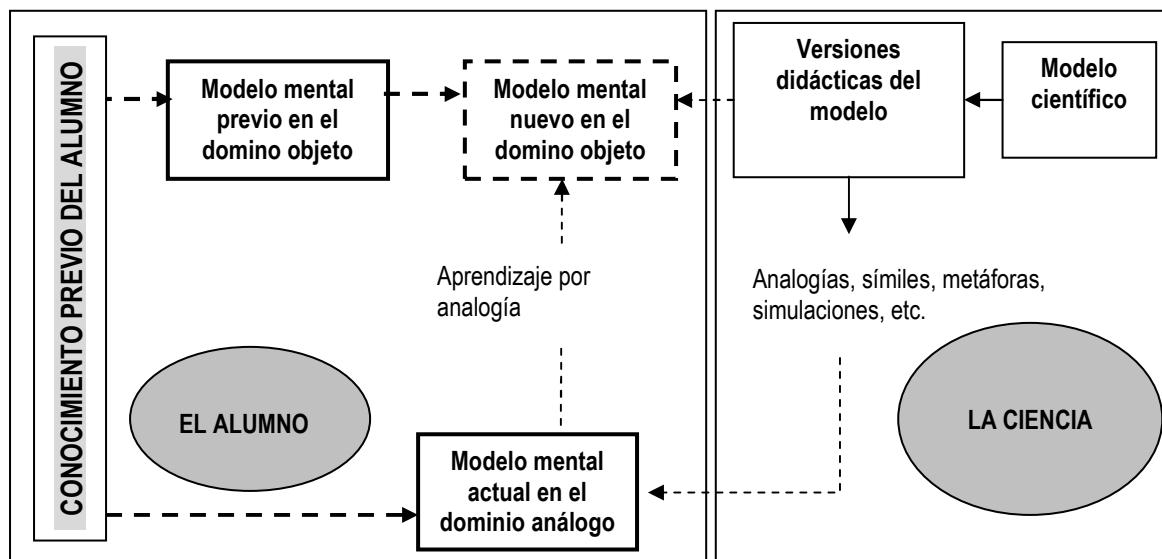


Figura 1.- Marco teórico para situar las analogías en la evolución de los modelos mentales de los alumnos (Oliva et al., 2003).

Al hablar de analogía, desde el punto de vista escolar, puede uno referirse a dos cosas distintas. De un lado, es posible aludir al estímulo externo que utiliza el libro de texto o el profesor en su discurso, como parte de la transposición didáctica de los modelos y teorías de la ciencia. Dicho estímulo se puede estructurar a partir de la explicación verbal de la analogía, del uso de dibujos e imágenes que sean sugerentes o simplemente mediante algún símil o metáfora. De otro, se puede pensar en la analogía como fenómeno interno, esto es, como proceso que se activa en la mente del alumno producto de su interacción con el profesor o el libro de texto a lo largo de la clase. Es evidente, que es en este otro contexto en el que se ha de situarse si se quiere comprender los mecanismos del pensamiento analógico, sus virtudes y dificultades. Dicho de otro modo, es en este marco en el que se ha de pensar cuando se analice la analogía en términos de construcción personal.

A la hora de trazar una analogía un primer paso sería elegir el análogo o situación de anclaje que se utiliza como referencia. Se supone que el análogo elegido debe ser más familiar para el alumno. Al evocar la analogía se parte, pues, de un modelo mental previo que tendrá el alumno sobre la situación objeto, de un modelo mental actual sobre la situación análoga y un conjunto de herramientas y representaciones didácticas externas, producto de la transposición didáctica del conocimiento científico en conocimiento escolar.

Una parte importante de esas versiones didácticas de los modelos, se elaboran con objeto de estimular el pensamiento analógico en los alumnos, por ejemplo, cuando se utiliza en las clases de ciencias un modelo molecular de bolas, una maqueta a escala para explicar el Sistema Solar o globos inflados para ilustrar la forma de distintos orbitales. Se usan esos recursos como estímulos para evocar imágenes y situaciones

que son familiares para los alumnos, permitiéndoles así desarrollar modelos mentales sobre el fenómeno objeto de estudio que de otro modo serían inaccesibles.

En este marco, la comprensión que el alumno elabora acerca de un contenido dado depende, de un lado, del uso de analogías adecuadas por parte del texto y del profesor. Pero también, de otro, la interpretación que el alumno hace de la analogía proporcionada depende, a su vez, del modelo mental previo del que éste parte acerca del contenido objeto de análisis. Dicho modelo proporciona al sujeto un marco o contexto inicial desde el que dirigir la lectura y dar un sentido determinado a la analogía, entre los muchos posibles, induciéndole a fijar su atención en unas relaciones y no en otras a la hora de interpretar la misma (Kaufman, Patel y Magder, 1996).

En consecuencia, la construcción de la analogía debe entenderse como una tarea compleja que no se verifica de una forma lineal y unidireccional, sino a través de un proceso interactivo entre el objeto y el análogo, en el que tanto el significado que se otorga a la analogía como al modelo que la soporta, se van viendo modificados y enriquecidos de una forma paulatina a medida que la comprensión avanza (Oliva et al., 2001) (figura 2).

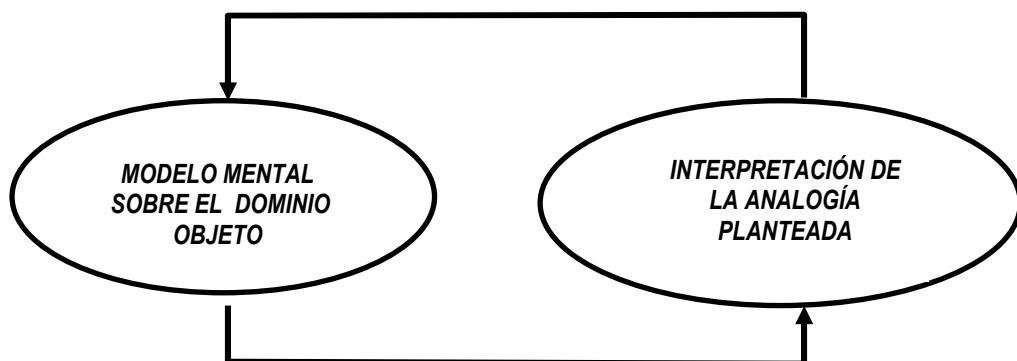


Figura 2.- Circularidad en la construcción del modelo y de la analogía.

Consecuentemente, ha de asumirse la analogía como un proceso cuya comprensión comporta diversas tentativas a través de las cuales se van modificando sus señas de identidad. En el curso de dicho proceso, la posición del alumno oscilaría entre contemplar el dominio objeto desde la perspectiva del análogo y al contrario. De ello se deduce que la comprensión de la analogía y la del dominio objeto de estudio son procesos que ocurren simultáneamente.

Los primeros intentos en este sentido operan de un modo tosco y poco fluido, ya que la escasa comprensión que tiene el sujeto sobre el objeto de estudio que intenta comprender dificulta el proceso de demarcación de esos rasgos y relaciones, todo ello en detrimento de una adecuada selección de aquéllos que serían deseables desde el punto de vista científico.

Por esta razón, la analogía no acaba con la impronta que el sujeto adquiere a partir de una primera comparación, sino que el primer modelo desarrollado se convierte en una especie de hipótesis de trabajo que puede cambiar y/o evolucionar en función de nuevos datos externos que actúen como soporte regulador. A través de estas posibles

regulaciones sucesivas, algunos de los rasgos y relaciones sobre los que se ha fijado la atención pueden ir desapareciendo del panorama entrando en su lugar otros nuevos. Debido a esta recursividad del proceso, surge 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. Así mismo, parece aconsejable el uso de la misma analogía a lo largo de distintos momentos de la secuencia didáctica, con objeto de mostrar la utilidad de la misma (Duit, 1991; Thagard, 1992; Dagher, 1994; Heywood y Parker, 1997; Harrison y Treagust, 2000a,b).

En resumidas cuentas, una analogía constituye un recurso que puede ayudar al alumno a desarrollar modelos mentales próximos a los que presenta la ciencia escolar, pero a la vez, un cierto nivel de comprensión de partida de esos modelos puede ser determinante a la hora de interpretar la analogía planteada en el sentido deseado.

EL USO DE ANALOGÍAS EN EL ESTUDIO DEL MODELO CINÉTICO-MOLECULAR DE LA MATERIA

Siguiendo este enfoque, se diseñó y se puso en práctica una unidad didáctica para el estudio de la teoría cinético-molecular en tercer curso de Educación Secundaria Obligatoria, en la asignatura de Física y Química, adoptando el uso de analogías como núcleo central del repertorio didáctico de recursos contemplados.

Consecuencia de una reflexión conjunta del análisis científico y del análisis didáctico efectuado, surgieron los fines o propósitos perseguidos en la unidad. Éstos fueron los siguientes:

- i. Contemplar una visión explicativa de la materia basada en un nivel microscópico o molecular.
- ii. Conocer y comprender los postulados básicos del modelo cinético molecular de la materia.
- iii. Interpretar, según la teoría cinético-molecular, las propiedades de las sustancias en diferentes estados de agregación y fenómenos como las mezclas, separaciones y cambios de estado.
- iv. Predecir fenómenos y propiedades empleando el modelo cinético molecular.
- v. Valorar el sentido, utilidad y limitaciones de los modelos en la Ciencia.

El referente externo del modelo a construir consistió en una versión cualitativa del modelo cinético-molecular. En dicha versión las moléculas eran representadas unas veces mediante círculos o esferas, y otras mediante análogos extraídos de la vida diaria: lentejas, palomitas, pelotas de tenis, etc. La tabla 1 recoge de forma escueta el nivel de conceptualización alcanzado en los contenidos tratados.

El enfoque didáctico seguido al trabajar con analogías podría encuadrarse dentro de un marco más amplio fundamentado y descrito en otro lugar (Oliva et al., 2001) basado, a su vez, en trabajos de autores como Dagher (1995), Duit (1991), Glyn (1991), Harrison y Treagust, 2000a) etc.

Sistema	Constitución
La materia, en general	La materia está formada por moléculas y espacio vacío. Entre las moléculas existen fuerzas atractivas y repulsivas. Si las fuerzas atractivas son pequeñas, éstas se alejarán debido a su movimiento. Si dos moléculas se acercan mucho, debido a las fuerzas repulsivas se repelerán.
Gaseoso	Las moléculas están muy separadas, unas diez veces más que en el estado líquido, y se mueven desplazándose aleatoriamente de un lugar a otro pudiéndose separar indefinidamente.
Líquido	Las moléculas están desordenadas y las distancias son aproximadamente iguales que en estado sólido. Pueden desplazarse de un lugar a otro, pero no pueden separarse indefinidamente.
Sólido	Las moléculas tienen movimiento vibratorio y las distancias entre moléculas son del orden del diámetro molecular. En los llamados sólidos cristalinos, las moléculas están dispuestas de forma ordenada.
Mezcla	Sustancias diferentes tienen moléculas distintas. En una mezcla existen dos tipos de sustancias, o lo que es lo mismo, dos tipos de moléculas. En las llamadas disoluciones, las moléculas están mezcladas uniformemente; en las heterogéneas, no.

Tabla 1.- Nivel de conceptualización adoptado como referente en las representaciones didácticas del modelo cinético-molecular.

El enfoque adoptado se podría concretar a través de los siguientes puntos:

- i. La presentación de la situación objeto de estudio, es decir, del fenómeno que se pretendía estudiar y de la versión didáctica del modelo científico que los explicaba.
- ii. La introducción de una analogía, o de varias, que presentasen una estructura común con el modelo.
- iii. El estudio de las semejanzas existente entre el sistema real y el análogo, a través del trazado de relaciones entre los elementos de uno y otro.
- iv. El establecimiento de diferencias que pusiesen de manifiesto las limitaciones de las analogías.
- v. La aplicación de la analogía en actividades de interpretación y predicción de fenómenos, con la pretensión de afianzar el modelo y los conceptos asociados.
- vi. La profundización en el modelo mediante actividades de síntesis de conclusiones, y el planteamiento de actividades destinadas a introducir cambios sobre aquellas concepciones erróneas que se habían detectado al principio.

Desde el punto de vista de la metodología empleada en el proceso de intervención didáctica, se propició un entorno activo y participativo para los alumnos, partiendo de sus concepciones iniciales y tomando como referente un aprendizaje de tipo significativo. Las actividades se realizaron normalmente con los alumnos distribuidos en pequeños grupos dejando un espacio de tiempo al final para una puesta en común.

De esta manera, las analogías no fueron introducidas de un modo lineal y unidireccional, del profesor al alumno, sino que fueron construidas en la interacción entre ambos a través del diálogo y la discusión (Oliva et al., 2001; Ceacero, González-Labra y Muñoz-Trillo, 2002; Else, Ramírez y Clement, 2002).

El tratamiento didáctico se prolongó a lo largo de ocho sesiones de clase, de una hora de duración cada una.

La secuencia didáctica seguida puede encontrarse en Oliva et al. (2003), donde además se comparan los resultados finales alcanzados en un grupo experimental, que fue enseñado mediante analogías, con los de otro de control, que fue enseñado sin ellas. Los resultados obtenidos entonces mostraron en los alumnos que fueron enseñados a través de dicho recurso, modelos explicativos más acordes con el modelo científico que los alumnos que fueron enseñados según un diseño semejante pero sin analogías. No obstante, las diferencias encontradas fueron pequeñas, a todas luces menores de las esperadas. Una forma de explicar las discretas diferencias encontradas entre el grupo experimental y el de control, significativas pero inferiores a las esperadas, podría ser en términos de que las analogías empleadas en el diseño didáctico no fueran comprendidas e interpretadas adecuadamente dentro de los límites pretendidos. Si ello es así, es previsible que las analogías no siempre jueguen el papel esperado, al menos en aquellos casos en las que éstas no son comprendidas en los términos esperados.

Pero en aquella ocasión quedó pendiente el estudio de la comprensión en los alumnos de las analogías utilizadas en clase y de cómo dicha comprensión afectó al nivel de adecuación de los modelos construidos sobre la estructura interna de la materia. A ello se dedica el esfuerzo y la atención en este trabajo.

EL ESTUDIO

Las cuestiones centrales que orientaron la investigación fueron las siguientes:

- 1º) Qué grado de comprensión alcanzaron los alumnos acerca de las analogías empleadas en clase, una vez finalizado el proceso de enseñanza.
- 2º) En qué medida dicha comprensión influyó sobre los resultados de los aprendizajes logrados acerca del modelo cinético-molecular de la materia, y viceversa.

La investigación se llevó a cabo a partir de una muestra de 65 estudiantes de 3º de ESO provenientes de tres grupos de clase de dos institutos públicos de secundaria de una población rural. Justamente, ésta fue la muestra que se tomó como grupo experimental en el ya referido estudio anterior (Oliva et al., 2003). Como ya se indicara entonces, el estatus socioeconómico de los alumnos implicados era por lo general de nivel medio-bajo. Su motivación por el estudio era bastante escasa, y ello se reflejaba en rendimientos académicos bajos por lo general y altos índices de absentismo escolar. Por otra parte, conviene indicar que los sondeos previos realizados en clase mostraron que todos los alumnos partían de una imagen macroscópica de la materia, muy alejada de un modelo de partículas.

Parte de los datos manejados en este estudio son los mismos obtenidos entonces. Éstos provenían de la administración de un cuestionario (A) destinado a investigar los modelos activados por los alumnos durante la interpretación y predicción de fenómenos físicos (estados de la materia, cambios de estado, difusión, etc.). Un análisis de algunas de las interpretaciones intuitivas más frecuentes empleadas por el alumnado ante este tipo de fenómenos puede encontrarse en la literatura disponible (Benarroch, 2000, 2001; Gómez-Crespo y Pozo, 2004; Pozo y Gómez-crespo, 1998; Oliva et al., 2003). El cuestionario, formado por seis tareas, cuya estructura y contenido se sintetizan en la tabla 2, se administró algunas semanas después de completar el tema objeto de análisis.

Tarea	Contenido tratado	Contexto de la tarea	Formato de la pregunta	Respuesta que se pedía	Respuesta esperada desde el punto de vista científico
1	Diferencias en el espacio intermolecular de un líquido y de un gas.	Ebullición de agua en una olla a presión totalmente repleta.	Predicción del fenómeno: opción múltiple Justificación de la respuesta: abierta	¿Es posible, en esas condiciones, el paso de todo el líquido al estado de vapor?	No es posible, debido a que, en estado gaseoso, las moléculas necesitan más espacio al encontrarse mucho más distantes entre sí
2	Movilidad de las moléculas, concretamente en un gas.	El aroma que percibimos de un tarro de colonia.	Predicción del fenómeno: opción múltiple. Justificación de la respuesta: abierta.	Cuándo te llega antes el olor: ¿en verano o en invierno?	En verano, debido a que la mayor temperatura favorece el proceso de difusión del gas al moverse sus moléculas más deprisa.
3	Diferencias en el espacio intermolecular de un líquido y de un gas.	Dos recipientes iguales: uno lleno de agua líquida y otro de vapor de agua.	Explicación del fenómeno presentado: respuesta abierta.	¿Por qué el que está lleno de agua pesa más?	El recipiente con agua líquida contiene mayor número de moléculas ya que en ella el espacio intermolecular es mucho menor.
4	Movilidad de las moléculas, concretamente en un gas.	Expansión de un gas.	Explicación del fenómeno presentado: respuesta abierta.	¿Por qué un gas tiende siempre a ocupar todo el volumen del recipiente que lo contiene?	La movilidad intrínseca y la libertad de las moléculas posibilita su difusión a través del recipiente.
5	Diferencias en el espacio intermolecular de un líquido y de un gas.	Se intenta comprimir un poco de agua mediante una jeringa con la salida obstruida.	Explicación del fenómeno presentado: abierta pero advirtiendo que tenían que usar el MCM.	¿Por qué no es posible comprimir apenas el agua y sí un poco de aire?	En el agua líquida el espacio intermolecular es pequeño, mientras en el aire es mucho mayor.
6	Movilidad de las moléculas, concretamente en un gas.	Difusión de un gas desde un recipiente a otro vacío conectados ambos mediante un tubo.	Explicación del fenómeno presentado: abierta pero advirtiendo que tenían que usar el MCM	¿Por qué el gas se reparte entre ambos recipientes?	La movilidad intrínseca y la libertad de las moléculas posibilita su difusión de un recipiente a otro.

Tabla 2.- Esquema del contenido de la prueba final de interpretación de fenómenos mediante la teoría cinético-molecular.

En esencia, su finalidad era evaluar: 1º) en qué medida los alumnos pensarían a través de un modelo microscópico de materia (todas las tareas), 2º) si, en tal caso, identificarían diferencias sustanciales entre el espacio intermolecular existente en un líquido y en un gas (tareas impares), y 3º) si otorgarían o no movimiento intrínseco a las moléculas, concretamente, de un gas, logrando así explicar fenómenos como la difusión (tareas pares).

Junto a los resultados de este cuestionario, en esta ocasión se utilizaron también los obtenidos en otro (B) que se administró paralelamente al objeto de evaluar el nivel de comprensión de los alumnos sobre algunas de las analogías empleadas durante el proceso de intervención didáctica. Para ello se eligieron dos analogías utilizadas en clase. Una de ellas dirigida a visualizar el espacio intermolecular en estado condensado y en un gas, a través de monedas que se colocaban más próximas o separadas, según el caso. La otra, a representar el movimiento molecular y su variación con la temperatura, mediante un conjunto de pelotas de tenis situadas sobre una cama elástica que se agitaba desde el exterior con más o menos intensidad. El formato de presentación elegido para ambas tareas del cuestionario fue abierto y la estructura y contenido de cada una se detalla en la tabla 3. No sólo se pretendía analizar el grado de recuerdo que tenían los alumnos de la analogía en sí, sino también si éstos ostentarían una comprensión profunda de la misma en los términos esperados desde el punto de vista de la ciencia escolar. Para ello, se pedía que explicasen la analogía y que señalasen las similitudes y diferencias entre el objeto y el análogo puestos en juego en la comparación.

Analogía	Aspecto a destacar	Estructura de la analogía	Preguntas que se formulan
Monedas	Espacio intermolecular en sólidos y gases	Se compara un conjunto de monedas juntas y separadas con los estados de la materia	Se pide la correspondencia entre cada caso y los estados sólido y gaseoso, así como las semejanzas y diferencias entre ambos sistemas.
Pelotas de tenis	Movimiento molecular	Se compara la materia con un conjunto de pelotas de tenis situadas sobre una cama elástica	Se pregunta sobre a qué acto equivaldría en dicho sistema el hecho de calentar agua en una olla. También semejanzas y diferencias entre ambos sistemas.

Tabla 3.- Estructura y contenido de las tareas destinadas a evaluar el grado de comprensión de algunas de las analogías planteadas en clase.

En primer lugar se establecieron los criterios de corrección de las tareas para ambos cuestionarios, los cuales se concretaron en sistemas de categorías de carácter ordinal. Todas las respuestas fueron revisadas por tres jueces con objeto de triangular opiniones. Se intentó, en primera instancia, que la asignación de niveles a las distintas respuestas fuera el producto de la unanimidad entre los tres jueces. Ello fue posible en la mayoría de casos. En los restantes, se recurrió, en su defecto, a un criterio de consenso entre al menos dos jueces.

SOBRE EL MODELO DE MATERIA UTILIZADO POR LOS ALUMNOS DESPUÉS DE LA ENSEÑANZA

Para el cuestionario A se estableció un sistema de categorías de carácter ordinal (1 a 5), según el grado de proximidad al punto de vista científico. En Oliva et al. (2003) se pormenorizaron los criterios utilizados para categorizar las respuestas, exponiendo ejemplos concretos. En este caso, únicamente se señalan cuáles fueron los niveles de respuesta considerados:

- Nivel 1. Contestaciones en blanco o, también, respuestas que presentaban una imagen continua de la materia con explicaciones claramente desviadas de las que utiliza la ciencia para interpretar el fenómeno. En otras ocasiones, las explicaciones aportadas eran poco elaboradas o incluso triviales.
- Nivel 2. Respuestas con un cierto grado de elaboración, que podrían considerarse parcialmente correctas desde un punto de vista macroscópico, pero que omitían referencias a una interpretación discontinua de la materia.
- Nivel 3. Respuestas que, haciendo uso de una visión discontinua de la materia, incurrían en concepciones alejadas del punto de vista de la ciencia escolar. En ocasiones, estas desviaciones se basaban en proyecciones de las propiedades del mundo macroscópico sobre el microscópico (Gómez-Crespo y Pozo, 2004).
- Nivel 4. Interpretación discontinua de la materia bastante próxima al modelo objeto, con algunas imprecisiones en el lenguaje o que omitían aspectos relevantes como el movimiento de las partículas. En ocasiones la idea de movimiento se introducía solo como un fenómeno transitorio y ordenado.
- Nivel 5. Respuestas que mostraban un grado óptimo de aproximación a la ciencia escolar en el marco expuesto para la teórica cinético-molecular en la tabla 1.

Los resultados descriptivos correspondientes a las tareas del cuestionario A se presentan en la tabla 4. Como puede verse, los datos varían de unas tareas a otras, aunque en todos los casos muestran distribuciones en forma de "U". Ello denota una tendencia a la polarización de respuestas hacia niveles extremos: modelos macroscópicos de materia versus modelos microscópicos acordes con la teoría cinético-molecular.

Nivel	%					
	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3	Tarea 4	Tarea 5	Tarea 6
1	36,9	26,2	13,8	26,2	36,9	27,7
2	18,5	18,5	13,8	20,0	1,5	16,9
3	13,8	10,8	12,3	3,1	7,7	7,7
4	-	7,7	12,3	21,5	18,5	33,8
5	30,8	36,9	47,7	29,2	35,4	13,8

Tabla 4.- Distribución de frecuencias entre los distintos niveles en el modelo de materia que se evoca en la interpretación de fenómenos (Cuestionario A).

En conjunto, como ya se comentara en el estudio citado (Oliva et al., 2003), los resultados finales alcanzados pueden considerarse sólo parcialmente satisfactorios. Ello nos lleva a la necesidad de investigar el grado de comprensión alcanzado por los alumnos en las analogías trabajadas en clase, factor que nos parece crucial para entender el alcance del diseño de enseñanza empleado.

SOBRE LA COMPRENSIÓN DE ALGUNAS DE LAS ANALOGÍAS UTILIZADAS EN CLASE

El grado de comprensión de cada una de las analogías analizadas en el cuestionario B se evaluó también mediante una escala ordinal de cinco niveles, de acuerdo a una taxonomía de valores elaborada a partir de los siguientes criterios: nivel 1 (comprensión nula o muy baja), nivel 2 (baja), nivel 3 (media), nivel 4 (alta), nivel 5 (avanzada). Veamos concretados estos criterios para cada una de las analogías.

Analogía de las monedas:

- Nivel 1. Sin respuesta o respuesta incodificable.
- Nivel 2. Se realiza un intento de comparación pero se falla al hacerlo, o éste resulta muy vago y trivial. La comparación resulta incorrecta desde el punto de vista de la que didácticamente se pretendía. Ejemplo: *"En ambos casos las moléculas son como monedas que pueden situarse de distinta manera"*.
- Nivel 3. Se identifica correctamente los elementos de un sistema con los del otro, pero no se justifica ni se explica claramente la lógica de la comparación. No se mencionan ni semejanzas ni diferencias. Ejemplo: *"A [monedas] juntas equivaldría al sólido y el B al gaseoso monedas [separadas]"*.
- Nivel 4. Se entiende la analogía en términos de comparación de las distancias intermoleculares con la separación entre monedas. Se incide en las semejanzas pero no en las diferencias. Ejemplo: *"En el A [monedas juntas] será estado sólido ya que todas las moléculas se encuentran muy unidas. B [sería] un estado gaseoso, porque están todas las moléculas muy separadas."*.
- Nivel 5. Se entiende la analogía en términos de comparación de las distancias intermoleculares con la separación entre monedas. Se mencionan también diferencias entre ambos sistemas, aludiéndose al factor de agitación molecular como elemento sin contrapartida en el caso de las monedas. Ejemplo: *"Entre las diferencias citaría [...] el que las moléculas en estado sólido deberían de vibrar y en estado gaseoso estar moviéndose de un lado para otro. Entre las semejanzas diría que las monedas que representan el estado gaseoso están mucho más separadas que las moléculas del sólido, como ocurre con el caso de las monedas. Y las monedas del sólido están ordenadas igual que las moléculas, y en las del líquido están desordenadas igual que en el líquido"*.

Analogía de las pelotas de tenis:

- Nivel 1. Sin respuesta o respuesta incodificable.

- Nivel 2. Se realiza un intento de comparación pero se falla al hacerlo. La comparación resulta incorrecta desde el punto de vista de la que didácticamente se pretendía. Ejemplo: *"Las pelotas son como las burbujas de agua que se mueven en la ebullición"*.
- Nivel 3. Se identifican correctamente los elementos de un sistema con los del otro, pero no se justifica ni se explica la comparación. No se mencionan ni semejanzas ni diferencias. Ejemplo: *"Mientras más calientes más saltan las pelotas hacia arriba"*.
- Nivel 4. Se entiende la analogía en términos de comparación del calentamiento con el movimiento de las bolas. Se incide en las semejanzas pero no en las diferencias. Ejemplo: *"... tendríamos que [...] aplicarle movimiento meneando la cama con más o menos fuerza. Si la movemos con poca fuerza estarían más juntas, y estarían en estado sólido, si las movemos un poco más en estado líquido y si las movemos fuertemente en estado gaseoso"*.
- Nivel 5. Se entiende la analogía en términos de comparación del efecto de calentamiento con el hecho de agitar las bolas o la superficie sobre la que se encuentran. Se señalan también diferencias entre ambos sistemas. Ejemplo: *"Al calentarse las moléculas se mueven más deprisa. Por tanto, calentar equivaldría al hecho de agitar las pelotas de tenis golpeando la lona. Aunque no sería lo mismo, porque las pelotas terminan cayendo y quedándose sin movimiento"*.

Una vez categorizadas las respuestas de los alumnos, se analizó cuantitativamente el nivel de comprensión de las analogías empleadas por el conjunto de la muestra. La tabla 5 presenta la distribución de frecuencias de alumnos a lo largo de los diferentes niveles considerados, para cada una de las tareas.

Nivel	Monedas		Pelotas de tenis	
	n	%	n	%
1	4	6,2%	10	15,4%
2	5	7,7%	20	30,8%
3	41	63,1%	15	23,1%
4	9	13,8%	16	24,6%
5	6	9,2%	4	6,2%

Tabla 5.- Distribución de frecuencias entre los distintos niveles de comprensión considerados para las analogías.

Una lectura de los datos obtenidos permite extraer algunas conclusiones interesantes. Aunque en términos de promedios, los resultados obtenidos para ambas analogías podrían considerarse semejantes, con una mediana en ambos casos igual a 3; se observan diferencias importantes en cuanto a las distribuciones resultantes.

Así, de una parte, en la analogía de "las monedas", que intentaba ayudar a visualizar las distancias intermoleculares en el estado gaseoso y en el condensado, aparece una

fuerte concentración de frecuencias en el nivel intermedio de la escala (valor 3) y una distribución bastante simétrica en torno al mismo. En conjunto, los datos indican un cierto nivel de comprensión del sentido de la analogía, con un 86% de los alumnos que alcanzan al menos un nivel intermedio.

De otra, en la analogía de "las pelotas de tenis", cuya finalidad era ayudar a visualizar el factor movimiento y su relación con la temperatura, la distribución de frecuencias también se muestra bastante simétrica en torno al nivel tres, aunque en este caso los valores aparecen distribuidos de una forma más homogénea entre los distintos niveles. Ello denota una mayor diversidad en el nivel de comprensión de dicha analogía. Así, en ella, no llega al 55% el porcentaje de alumnos que alcanza al menos el nivel "medio", aunque casi el 31% de los alumnos elevan ahora su nivel de comprensión hasta uno "alto" o "muy alto" (niveles 4 o 5), valor que supera al del 23% que se hace lo propio en la analogía anterior. Dicho de otro modo, si bien la analogía de las monedas se mostró globalmente más asequible para los alumnos, al menos para llegar a un cierto mínimo, la analogía de las pelotas de tenis, una vez asimilada, llegaba a mostrar niveles de comprensión más profundos en la fracción de alumnos correspondientes.

Resulta evidente que no es posible estar del todo contentos con los niveles de comprensión alcanzados para las analogías consideradas en este estudio, máxime cuando la metodología didáctica utilizada había sido especialmente diseñada desde una perspectiva innovadora con el ánimo de contribuir a un uso de las mismas más apropiado, desde un enfoque del aprendizaje como proceso de construcción. No obstante, a este dato ha de añadirse el contexto en el que tales resultados se obtuvieron (Oliva et al., 2003), a saber: i) se trataba de una muestra de alumnos con escaso nivel de motivación hacia el estudio y la propia escolarización, según recordamos, y ii) la metodología en cuestión sólo fue aplicada parcialmente dado que, de hecho, se fue gestando de forma paralela al desarrollo de esta investigación.

Con estos datos adicionales en la mano, puede hacerse un balance más optimista y equilibrado, aunque se es consciente de que hay que seguir profundizando en el enfoque didáctico adoptado y afinando en el tipo de analogías específicas a utilizar a lo largo del mismo. Pero para ello, parece importante analizar primero qué relación existe entre el nivel de comprensión de las analogías empleadas y las ideas desarrolladas en los alumnos sobre el modelo cinético-molecular, verdadero motor y referente del aprendizaje que se pretendía que alcanzaran los alumnos.

RELACIÓN ENTRE COMPRENSIÓN DE ANALOGÍAS Y EL MODELO DE MATERIA CONSTRUIDO

Una forma de estudiar de forma estadística dicha relación es a través de la correlación entre los resultados de las tareas del cuestionario A y del cuestionario B. La tabla 6 recoge la matriz correspondiente de coeficientes de correlación de Spearman entre las tareas de ambos cuestionarios.

Como puede verse, las respuestas de los alumnos al cuestionario A revelan un alto grado de consistencia interna, ya que, de las quince comparaciones posibles entre

tareas, trece de ellas alcanzan correlaciones estadísticamente significativas, con valores que suelen ir de moderados a relativamente altos, superando el valor de 0,50 en tres de los casos y el de 0,40 en cinco casos más.

		Cuestionario A						Cuestionario B	
		Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3	Tarea 4	Tarea 5	Tarea 6	Monedas	Pelotas de tenis
Cuest. A	Tarea 1	1,00	0,46**	0,30*	0,34**	0,42**	0,50**	0,29*	0,31*
	Tarea 2	0,46**	1,00	0,41**	0,59**	0,54**	0,20	0,35**	0,40**
	Tarea 3	0,30*	0,41**	1,00	0,32**	0,33**	0,23	0,15	0,24
	Tarea 4	0,34**	0,59**	0,32**	1,00	0,41**	0,42**	0,13	0,34**
	Tarea 5	0,42**	0,54**	0,33**	0,41**	1,00	0,39**	0,32**	0,36**
	Tarea 6	0,50**	0,20	0,23	0,42**	0,39**	1,00	0,24	0,32**
Cuest. B	Monedas	0,29*	0,35**	0,15	0,13	0,32**	0,24	1,00	0,44**
	Pelotas de tenis	0,31*	0,40**	0,24	0,34**	0,36**	0,32**	0,44**	1,00

* $\alpha < 0,05$ ** $\alpha < 0,01$

Tabla 6.- Matriz de correlaciones de Spearman entre las tareas del cuestionario A (tareas de la 1 a la 6) y las del cuestionario B de comprensión de analogías.

Por su parte, las tareas del cuestionario 2 también correlacionan bastante bien entre sí, arrojando entre ellas un coeficiente de correlación de 0,44; significativo más allá del valor de $\alpha=0,01$.

Finalmente, cuando se analizan las correlaciones entre tareas de distintos cuestionarios, se aprecian valores entre 0,13 y 0,44, siempre positivos, estadísticamente significativos en ocho de las doce comparaciones posibles. Estos datos sugieren una importante interrelación entre la comprensión de analogías y el modelo mental de materia sustentado, en consonancia con el marco teórico adoptado al principio del artículo y con los resultados obtenidos por otros autores en otros dominios del currículo de ciencias (Mason, 1994). En resumidas cuentas, revela una estructura de conjunto que merecería la pena estudiar en mayor detalle a través de un análisis factorial. Concretamente la hipótesis que se desprende del citado marco teórico, consiste en asumir la existencia de, al menos, dos factores con una significativa relación entre ambos. Uno de ellos que podríamos denominar de "pensamiento analógico", que aludiría al grado de comprensión logrado de las analogías planteadas, y otro que se referiría al nivel de progresión alcanzado en el "modelo de materia" que se posee.

Con objeto de comprobar dicha hipótesis, se procedió a realizar un estudio de componentes principales tomando como base la matriz de correlaciones de la tabla 6. La rotación elegida fue del tipo OBLIMIN, que es la que permite obtener factores o componentes no ortogonales, con una cierta correlación entre sí, al contrario de lo que ocurre con la rotación VARIMAX basada en el establecimiento de ejes o factores perpendiculares.

El análisis realizado arrojó, en efecto, como cabía esperar, dos factores que explicaban en conjunto el 56,2 % de la varianza, concretamente el 43,5% el primer factor y el 12,7% el segundo.

Una vez llevada a cabo la rotación, el método de rotación OBLIMIN proporciona dos matrices, y no solo una como ocurre en el caso de la rotación VARIMAX. La primera matriz es la matriz de configuración, que aporta información sobre la contribución de cada variable a cada uno de los factores obtenidos y, con ello, acerca de la naturaleza o significado de los mismos. Dicha matriz se recoge en la tabla 7 y en ella solo se han incluido las cargas factoriales que son superiores a 0,30; que es el umbral que suele considerarse significativo para estos casos.

	Variables (Tareas)	Componentes (factores)	
		1	2
Cuest. A	Tarea 1	0,602	
	Tarea 2	0,723	
	Tarea 3	0,701	
	Tarea 4	0,837	
	Tarea 5	0,631	
	Tarea 6	0,544	
Cuest. B	Monedas		0,911
	Pelotas de tenis		0,665

Tabla 7.- Matriz de configuración para el análisis de componentes principales con rotación Oblimin.

Como puede verse, el factor 1 puede identificarse con el nivel de comprensión mostrado por los alumnos finalmente acerca del modelo cinético-molecular, conformado a partir de la contribución de las tareas del cuestionario A. Mientras tanto, el factor 2 se identifica nítidamente con un factor de pensamiento analógico, ya que las cargas factoriales proceden de las tareas del cuestionario B.

La otra matriz que aporta este método de rotación es la matriz de estructura. Ésta proporciona información acerca de la correlación entre cada factor y cada una de las variables, lo que, en este caso, se interpretó como una medida de la influencia de cada factor sobre el resultado de las tareas de ambos cuestionarios (ver tabla 8). Como puede apreciarse, ahora la matriz proporciona una imagen bastante menos nítida que la anterior, con algunas variables (tareas) correlacionado con más de un factor a la vez, circunstancia ésta que sugiere una cierta relación entre factores y justifica la conveniencia de un análisis con este tipo de rotación. En efecto, la correlación entre los dos factores fue de 0,36; valor que resulta estadísticamente significativo al nivel de $\alpha < 0,01$.

Visto ahora como correlaciones entre factores y variables (tareas), y considerando a los primeros como variables independientes y a las segundas como dependientes, la matriz de estructura permite una aproximación a un estudio de relaciones causales. Se observa, en primer lugar, cómo en cuatro de las tareas del cuestionario A (1, 2, 5 y

6) los modelos mentales sustentados dependen no sólo del grado de comprensión del modelo cinético-molecular en sí (factor 1), sino también del grado de comprensión de las analogías planteadas (factor 2). Ello sugiere hasta qué punto dichos recursos influyeron sobre las respuestas de los alumnos al cuestionario A. Desde esta perspectiva, la comprensión de analogías influyó positivamente en la resolución de tareas en torno al modelo cinético-molecular. Esto podría sugerir que, cuando las analogías empleadas son adecuadamente comprendidas y asimiladas por los alumnos, podrían contribuir a que los modelos mentales evocados como respuesta a las tareas que se les plantea, sean más adecuados desde el punto de vista científico.

Variables (Tareas)	Componentes (factores)	
	1 (Comprensión del modelo cinético-molecular)	2 (Pensamiento analógico)
Cuest. A	Tarea 1	0,674
	Tarea 2	0,773
	Tarea 3	0,637
	Tarea 4	0,781
	Tarea 5	0,708
	Tarea 6	0,603
Cuest. B	Monedas	0,889
	Pelotas de tenis	0,466
		0,746

Tabla 8.- Matriz de estructura para el análisis de componentes principales con rotación Oblimin.

Visto de forma recíproca, desde el lado de las analogías trabajadas en clase, la comprensión de la analogía de "las monedas" no parece depender del modelo de materia que presentan los alumnos, habida cuenta de la ausencia de una carga factorial importante sobre ella del factor 1. Por tanto, la variable espacio intermolecular parece un elemento hasta cierto punto fácil de introducir con esta analogía visual, sin que su asimilación dependa posiblemente de los conocimientos previos del alumno sobre el modelo interno de la materia. Otra cosa es llegar a niveles más profundos de comprensión de la misma, aspecto que no parece que haya sido muy posible en nuestro caso como ya se sugiriera antes.

Sin embargo, la comprensión de la analogía de "las pelotas de tenis" sí parece depender significativamente del nivel de comprensión del alumno sobre el modelo cinético-molecular (factor 1), como se desprende del hecho de que exista una importante carga factorial de dicha tarea sobre ese factor (0,47). Esto puede interpretarse mediante la incidencia positiva que pudo tener para los alumnos una comprensión temprana de algunos rasgos del modelo de partículas sobre sus interpretaciones personales posteriores sobre de las analogías que se trabajaron en clase. Este hecho resulta lógico, dado que la variable movimiento aparece como un elemento avanzado del modelo cinético-molecular como lo demuestran los sistemas de

categorías ordinales encontrados en anteriores trabajos (Benarroch, 2000; Oliva et al., 2003) en los que dicha variable aparece sólo para el nivel más alto de las taxonomías.

Por tanto, la comprensión de dicha analogía exigiría como prerrequisito la asimilación anterior de otros elementos más básicos del modelo cinético-molecular. De ahí que su correcta interpretación resulte un problema más complejo para aquéllos que no disponen previamente de unos mínimos, lo cual concuerda bien con los resultados aportados antes en torno a la comprensión más avanzada alcanzada en un sector de los alumnos en la analogía de “las pelotas de tenis” con respecto a la de “las monedas”.

CONCLUSIONES

El estudio realizado ha puesto de relieve dos conclusiones importantes. En primer lugar indica que el nivel de comprensión alcanzado por los alumnos sobre las analogías manejadas durante el proceso de enseñanza fue sólo moderado. Ello marca la necesidad de revisar los materiales empleados, así como la gestión didáctica que se hizo de ellos. Por ejemplo, aspectos como clarificar en profundidad el sentido de las analogías manejadas, emplear la misma analogía en distintos momentos del proceso didáctico, usar diferentes analogías para representar los mismos aspectos de la situación objeto, o impulsar que los alumnos inventen y desarrollen sus propias analogías; fueron elementos del diseño que sólo se aplicaron parcialmente, tal vez sin la frecuencia y detenimiento que la situación hubiese merecido.

En segundo lugar, los datos aportados constituyen un refuerzo para el marco teórico expuesto al principio, al mostrar la estrecha relación que existe entre el pensamiento analógico del alumno y el modelo de materia que éste posee (figura 2). Así, de un lado, la comprensión de la analogía de “las monedas” pudo facilitar a los alumnos, en los primeros estadios de la intervención, la comprensión de algunos elementos básicos del modelo cinético-molecular, como es el caso del espacio intermolecular en los diferentes estados de agregación. Así mismo, en los estadios más avanzados, la comprensión de la analogía de “las pelotas de tenis” pudo haber ayudado a visualizar la idea de agitación molecular y su dependencia de la temperatura.

Pero de otro lado, visto desde una óptica contraria, parece que el grado de comprensión alcanzado para esa última analogía dependió también, a su vez, del modelo de materia que se tenía en mente y que sirvió para interpretar la misma de un modo más o menos próximo a la intencionalidad didáctica con la que se propuso. Es decir, el modelo de materia que tenían los alumnos antes de abordar esta otra analogía influyó notablemente sobre la comprensión que adquirieron a partir de la misma.

Para finalizar, una breve referencia a continuación a algunas de las perspectivas abiertas por esta investigación y a la posible continuidad trabajo en el futuro. En primer lugar, parece necesario continuar evaluando el diseño de intervención mediante analogías expuesto en éste y en anteriores trabajos, a través de la elaboración de nuevos materiales que incorporen de un modo más sistemático las

bases propuestas para el mismo, y mediante el diseño de materiales didácticos concretos para otros temas del currículo de ciencias.

Además, parece necesario profundizar en las dificultades que encuentran los alumnos en el pensamiento analógico, por ejemplo, cuando desvían su interpretación personal de las analogías planteadas en clase respecto a la que sería deseable. En este sentido, podría constituir una fuente de información complementaria la consulta a los propios alumnos sobre sus opiniones y actitudes acerca de las analogías planteadas y el nivel de comprensión que ellos manifiestan alcanzar a partir de ellas.

Finalmente, comentar que una estrategia interesante para la elaboración de secuencias de analogías a emplear en clase, podría ser precisamente la que se ha puesto en práctica en el presente trabajo; es decir, comparar los niveles de comprensión alcanzados sobre diferentes analogías y correlacionarlos luego con los modelos mentales construidos sobre los tópicos del currículo estudiados. Una vía alternativa complementaria a ésta sería la del estudio a nivel cualitativo de la evolución de esos modelos mentales a lo largo de un diseño longitudinal. Dicho estudio debería ir más allá de la evaluación de los modelos mentales finales, procediendo al microanálisis de los cambios que van operando sobre los mismos a medida que el proceso de intervención avanza.

En suma, de cara al futuro se abre un amplio espectro de posibilidades a la hora de seguir investigando sobre el tema de las analogías como recurso para la enseñanza de las ciencias, contando para ello con un marco teórico lo suficientemente potente como para seguir avanzando en este terreno. Esperemos en un futuro próximo que puedan aportarse datos en este sentido, al objeto de profundizar en esta línea y proporcionar implicaciones didácticas de interés.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento a Manuel Bonat y Joaquín Mateo, coautores del trabajo citado diversas veces en el texto (Oliva et al., 2003), cuyos resultados se utilizaron también parcialmente a la hora de analizar los de este otro.

REFERENCIAS

- BENARROCH, A. (2000). El desarrollo cognoscitivo de los estudiantes en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 235-246.
- BENARROCH, A. (2001). Una interpretación del desarrollo cognoscitivo de los alumnos en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), pp. 123-134.
- BROWN, D.E. y CLEMENT, J. (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science*, 18, 237-261.
- CEACERO, J.; GONZÁLEZ-LABRA, M^a.J. y MUÑOZ-TRILLO, P. (2002). *Aplicaciones de la analogía en la educación*. Sevilla: Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía.

- DAGHER, Z.R. (1994). Does the use of analogies contribute to conceptual change? *Science Education*, 78(6), 601-614.
- DUIT, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- ELSE, M.J.; RAMÍREZ, M.A. y CLEMENT, J. (2002). When are analogies the right tool? A look at the strategic use of analogies in teaching cellular respiration to middle-school students. En P.A. Rubba, J.A. Rye, W.J. Di Biase y B.A. Crawford (Eds.). *Proceedings of the 2002 Annual International Conference of the Association for the Education of Teachers in Science*. Charlott, North Carolina.
- 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.
- 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.
- GUTIÉRREZ, R. (1996). Modelos mentales y concepciones espontáneas. *Alambique*, nº 7, 73-87.
- GUTIÉRREZ, R., y OGBORN, J. (1992). A causal framework for analysing alternative conceptions. *International Journal of Science Education*, 14(2), pp. 201-220.
- 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.
- GRECA, I.M. y MOREIRA, M.A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de Física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 289-304.
- GRECA, I.M. y MOREIRA, M.A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11.
- HARRISON, A.G. (2002). Analogical transfer – Interest is just as important as conceptual potential. *Conference papers from the International Education Research Conference*. AARE. Brisbane.
- HARRISON, A.G. y TREAGUST, D.F. (2000a). A tipology 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. y PARKER, J. (1997). Confronting the analogy the analogy: primary teachers exploring the usefulness of analogies in the teaching and learning of electricity. *International Journal of Science Education*, 19(8), 869-885.
- HOLLAND, J.H.; HOLYOAK, K.J.; NISBETT, R.E. y THAGARD, P.R. (1986). *Induction: processes of inference, learning and discovery*. Cambridge, Mass: The MIT Press.
- JOHNSON-LAIRD, P.N. (1983). *Mental models*. Cambridge: Cambridge /University Press.
- JUSTI, R. y GILBERT, J. (2000). History and philosophy of science through models: some challenges in the case of 'the atom'. *International Journal of Science Education*, 22(9), 993-1009.

- KAUFMAN, D.R., PATEL, V.L y MAGDER, S.A. (1996). The explanatory rol of spontaneously generated analogies in reasoning about physiological concepts. *International Journal of Science Education*, 18(3), 369-386.
- MASON, L. (1994). Cognitive and metacognitive aspects in conceptual change by analogy. *Instructional Science*, 22, pp. 157-187.
- OLIVA, J.M^a. (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/volumenes/volumen3/Numero3/ART7_VOL3_N3.pdf.
- OLIVA, J.M^a; ARAGÓN, M^a.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^a; ARAGÓN, M^a.M.; BONAT, M. MATEO, J. (2003). Un estudio sobre el papel de las analogías en la construcción del modelo cinético-molecular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 429-444.
- 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.
- POZO, J.I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.
- POZO, J.I. y GOMEZ CRESPO, M.A. (1998). *Aprender y enseñar química*. Madrid: Morata.
- REINER, M. y GILBERT, J. (2000). Epistemological resources for thougght experimentation in science education. *International Journal of Science Education*, 22(5), 489-506.
- 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), 15-23.
- THAGARD, P. (1992). Analogy, explanation and education. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 537-544.
- TREAGUST, D.F.; DUIT, R.; JOSLIN, P. y LINDAVER, I. (1992). Science teachers' use of analogies: observations from classroom practice. *International Journal of Science Education*, 14(4), 413-422.
- VOSNIADOU, S. (1994). Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), pp. 45-69.

SUMMARY

Firstly, in this paper a theoretical scheme on the mechanisms of the analogical thinking in science education is summarised. Secondly, the degree of understanding reached by a group of students about the analogies used in class on the molecular model is analyzed. Finally, the relationship between analogical thinking and the students' mental models about the nature of the matter is studied. The collected data indicate a moderate but acceptable final level of understanding of the analogies used, as well the existence of a narrow relationship between the understanding analogies and the construction of a model for the matter.

Keywords: Analogical thinking; analogies; cognitive development; didactic design; mental models; kinetic-molecular model.