

EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS EXPLICATIVOS DE LOS ALUMNOS EN TORNO AL CAMBIO QUÍMICO A TRAVÉS DE UNA PROPUESTA DIDÁCTICA CON ANALOGÍAS

DEVELOPMENT OF EXPLANATORY MODELS OF STUDENTS ABOUT CHEMICAL CHANGE THROUGH A METHODOLOGICAL APPROACH WITH ANALOGIES

María del Mar Aragón, José María Oliva, Antonio Navarrete
Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Departamento de Didáctica.
Universidad de Cádiz. España.
mmaragonmendez@gmail.com, josemaria.oliva@uca.es, antonio.navarrete@uca.es

RESUMEN: En este trabajo se analiza la evolución de los modelos explicativos de alumnos de 3.º de ESO (grado 9) en torno al cambio químico, a lo largo de una propuesta didáctica en la que las analogías jugaban un papel central y recurrente en el aprendizaje, dirigidas no solo a acercar los modelos de los alumnos a los de la ciencia escolar, sino a desarrollar también la competencia de modelización.

PALABRAS CLAVE: analogías, aprendizaje a través de analogías, modelización, modelos, modelo de cambio químico.

ABSTRACT: In this paper the evolution of explicative models of 9th grade students about chemical change, is analysed. The educative context of the research was the development of a lesson for the teaching of this topic, using analogies as central and continual resource in order not only to bring students to the school models, but also to develop the competence of modelling in the students.

KEY WORDS: analogies, teaching with analogies, modelling, models, models of chemical change.

Fecha de recepción: diciembre 2011 • Aceptado: agosto 2012

Aragón, M. M., Oliva-Martínez, J.M. y Navarrete, A. (2013). Evolución de los modelos explicativos de los alumnos en torno al cambio químico a través de una propuesta didáctica con analogías, *Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), pp. 9-30.

INTRODUCCIÓN

El cambio químico es un contenido relevante en la enseñanza de las ciencias puesto que estructura el aprendizaje de otros contenidos. Sirve para explicar muchos fenómenos de la realidad que nos rodea y para comprender muchos contenidos que forman parte de la cultura científica del ciudadano. No es de extrañar, por tanto, que la construcción de la noción de cambio químico sea uno de los referentes básicos en el currículo, tanto en la educación secundaria obligatoria como en bachillerato (Jensen, 1998; Raviolo, Garritz y Sosa, 2011; Merino e Izquierdo, 2011).

En este marco cobra un especial sentido el aprendizaje a través de modelos, entendidos como conocimientos escolares idealizados sobre la realidad que nos permiten comprenderla e interactuar con ella, tanto en las clases de ciencias como en la vida personal. Se trataría con ello de aprender no solo los modelos de la ciencia escolar, sino también las capacidades para trabajar con ellos, elaborarlos y revisarlos, así como hablar y opinar acerca de estos, entendiendo su valor, su utilidad, su carácter aproximativo y cambiante, y también sus limitaciones, todo lo cual viene a configurar lo que denominamos competencia de modelización.

En este contexto, las analogías pueden constituir instrumentos idóneos en el aprendizaje de modelos. Así, aunque su papel en el aprendizaje de las ciencias no ha estado libre de controversia (Duit, 1991), cuando se seleccionan y se usan de forma coherente con los presupuestos de la investigación, pueden contribuir al aprendizaje de conceptos y a la evolución de las concepciones alternativas (Posner *et al.*, 1982; Brown y Clement, 1989; Treagust *et al.*, 1992; Duit, 1991, 1996; Dagher, 1994; Ceacero *et al.*, 2002). Asimismo, las analogías pueden constituir herramientas adecuadas para desarrollar las aptitudes y actitudes necesarias para aprender modelos científicos y adquirir la competencia de modelización (Oliva y Aragón, 2009*a,b*).

El presente trabajo se inserta dentro de un marco más amplio dedicado a fundamentar y contrastar en la práctica la contribución del aprendizaje por analogía al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias. En este caso, se analiza la evolución de los modelos explicativos de los alumnos sobre el cambio químico a lo largo de una propuesta didáctica basada en las analogías. Se deja para estudios posteriores el problema de su aportación al desarrollo de procesos y compromisos epistemológicos relacionados con los procesos de modelización.

MARCO TEÓRICO

Un problema esencial acerca de los modelos es el de los símbolos y códigos empleados en su proceso de almacenaje y de evocación (Johnson-Laird, 1983; Holland, Holyoack, Nisbett y Taghard, 1986). Hasta tal punto es así, que muchos han entendido la tarea de modelizar como la acción de interpretar, manejar y expresar fenómenos y situaciones mediante esta variedad de códigos, para lo cual se requiere no solo un conocimiento sobre la estructura y el significado de los signos empleados, sino también disponer de las habilidades, estrategias y valores necesarios para poder afrontar tales procesos.

Aunque hoy en día no existe aún acuerdo al respecto, se puede asumir que el formato de representación no es único, siendo posible contemplar un cierto abanico de opciones que no son excluyentes. Autores como Barsalou (1999) y Nersessian (2002) delimitan, al menos, los siguientes formatos o códigos de representación:

- a) Formato proposicional, entendido como una cadena de símbolos relacionados entre sí mediante determinadas reglas. Sería el caso de las representaciones verbales o matemáticas, que permiten las operaciones habituales de la lógica y el álgebra.

- b) Formato icónico, constituido por representaciones analógicas y diagramas. Según la relación entre el símbolo usado en la representación y lo que se representa, podríamos concebir dentro de ellas tanto representaciones icónicas modales como amodales:
- Las representaciones modales, en las que los símbolos empleados guardan cierta relación de similitud con el objeto representado. En el caso del cambio químico, por ejemplo, las representaciones icónicas modales consistirían en dibujos en los que un átomo se representa mediante una esferita, o en los que, por poner el caso, el proceso de calentamiento de un cuerpo se representa mediante el dibujo de una llama.
 - Las representaciones amodales, en las que los símbolos usados no guardan ninguna relación de similitud con el objeto representado. Estos símbolos son arbitrarios y para poder comunicarse mediante ellos es necesario el consenso de un grupo de individuos. En el caso del cambio químico, las representaciones icónicas amodales se corresponderían con las fórmulas y las ecuaciones químicas.

Junto a esta taxonomía encontramos otras, como la que propone Johnstone (1982), que ha sido y sigue siendo fundamental en la investigación y en la praxis de la enseñanza de la química (Russell *et al.*, 1977; Casado y Raviolo, 2005; Talanquer, 2011). Aunque ha sido objeto de diversas reinterpretaciones y modificaciones (Galagovsky, Rodríguez, Stamati y Morales, 2003), en esencia descansa sobre la distinción de tres ámbitos diferentes de representación de la materia y sus cambios:

- Ámbito macroscópico, que corresponde a representaciones mentales que proceden de la realidad observable.
- Ámbito simbólico, que involucra la representación de conceptos químicos usando diferentes medios, modelos, dibujos, representaciones algebraicas, formas digitales...
- Ámbito submicroscópico, correspondiente a la interpretación de procesos mediante partículas submicroscópicas como electrones, átomos o moléculas, que no pueden ser directamente observadas.

Se advierten, entre ambas clasificaciones, ciertos puntos de intersección que nos permitirán, más adelante, sintetizarlas en un sistema de categorías útil para el análisis de datos. Concretamente, el ámbito simbólico del cambio químico (símbolos, fórmulas, ecuaciones químicas, etc.) de Johnstone se alinea claramente con los sistemas icónicos amodales de representación, mientras que el ámbito macroscópico y el submicroscópico encontrarían cabida tanto en las representaciones proposicionales como en las icónicas modales.

Desde esta perspectiva, diferentes formas de representación podrían equipararse a “lenguajes” distintos, consistiendo gran parte de la tarea de quien modeliza en la “traducción” de unos “lenguajes” a otros (Keig y Rubba, 1993). En este sentido, un valor importante de las analogías podría estar en su potencial para desarrollar estrategias, habilidades y valores necesarios para dicho proceso de “traducción”. De hecho, analogías y modelos comparten capacidades, actitudes y visiones epistemológicas que son comunes a ambos (Oliva y Aragón, 2009*a,b*). Si esto es así, podría explicarse que las analogías sirvan como interfase entre el conocimiento cotidiano del alumno y el manejo y la comprensión de algunos de los signos y códigos que manejan los modelos de la ciencia escolar. Por esta razón, y porque hoy en 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, 2000), es lógico suponer que las analogías resulten un recurso interesante como mediador en el desarrollo de los modelos explicativos de los alumnos.

Además de las distintas dimensiones o ámbitos de representación de los que hemos hablado, encontramos en la bibliografía un amplio espectro de estudios destinados a analizar los modelos o concep-

nes específicas que emplean los alumnos para explicar el cambio químico desde distintas perspectivas, siendo el de Andersson (1986) y el de Chastrette y Franco (1991) algunos de los antecedentes más lejanos en el tiempo. En ellos ya se avanzaba que la mayoría de los estudiantes no realizan de forma espontánea representaciones en el ámbito submicroscópico, y cuando lo hacen las explicaciones son sustancialistas, atribuyendo a las partículas las propiedades macroscópicas de las sustancias. De forma más reciente, De Jong y Taber (2007) han realizado un análisis de las concepciones alternativas que impiden la comprensión de cada uno de los tres ámbitos de representación del cambio químico de Johnstone. A las dificultades de tipo conceptual hemos de añadir otras de carácter procedimental (Pozo *et al.*, 1991; Talanquer, 2010), así como aquellas relacionadas con el lenguaje (Llorens, 1991).

Otras investigaciones también se refieren a los distintos ámbitos de representación del cambio químico y a sus posibles correspondencias (De Jong y Taber, 2007; Gilbert y Treagust, 2009), ya que estos tres ámbitos se relacionan entre sí y contribuyen a la construcción de conocimiento integral del modelo de cambio químico. En efecto, dado que el ámbito submicroscópico no puede ser observado por los estudiantes, estos han de desarrollar un modelo mental sobre el comportamiento de las partículas que, en gran parte, se deriva de las representaciones macroscópicas y simbólicas.

Por otro lado, encontramos numerosos estudios (Mortimer, 1998; Benarroch, 2000 y 2001; Selley, 2000; Galagovsky *et al.*, 2003; Garritz-Ruiz y Gallego-Cázares, 2004; Gómez Crespo y Pozo, 2004; Flores Camacho *et al.*, 2007; Espíndola Cappannini, 2010) en los que se analiza la evolución de las interpretaciones de los alumnos sobre la materia y sus transformaciones, inicialmente macroscópicas hasta otras que se sitúan en una escala submicroscópica. La mayoría de los autores consideran que dicha evolución es un factor positivo y un indicador de aprendizaje, al revelar un proceso de transformación de una imagen del mundo basada en aspectos perceptibles a otra centrada en aspectos formales que van más allá de lo que el alumno puede ver y tocar.

Aunque estamos de acuerdo en que dicho tránsito globalmente puede entenderse como una evolución, consideramos importante recordar que los distintos ámbitos de representación del cambio químico no son incompatibles, sino complementarios. De ahí que sea probable que, solo después de una correcta comprensión del modelo macroscópico del cambio químico, el estudiante llegue a formular hipótesis atómicas que le permitan explicar el comportamiento de los sistemas a otros niveles (Solsona, Izquierdo y de Jong, 2003; Furió y Domínguez, 2007).

Como apoyo a estas ideas, podemos aludir aquí a los trabajos de Mortimer (1995) en los que plantea la posibilidad de que, en cualquier persona, concurra una cierta diversidad de formas de pensar, que vendrían a configurar perfiles conceptuales que coexistirían en un mismo individuo y que se manifestarían ante contextos diferentes. Los diferentes modos de pensamiento para un concepto constituyen zonas diferentes de un perfil conceptual. Así, el concepto de molécula podría estar constituido por diferentes zonas que van desde la idea de ente constituyente de la materia susceptible de transmutación (similar a los cuatro elementos aristotélicos), pasando por la idea de partícula con las mismas propiedades de la sustancia o como partícula discreta constituida por un conjunto de átomos, hasta la concepción de molécula compatible con los modelos cuánticos (Mortimer y Amaral, 2007).

De todo lo anterior se desprende, por una parte, la necesidad de contemplar diversos códigos de representación en relación con el cambio químico: proposicionales frente a icónicos, macroscópicos frente a submicroscópicos o simbólicos, etc.; o la posibilidad de un uso múltiple de la diversidad de estos (Kern *et al.*, 2010). Pero también, por otra, se muestra la necesidad de establecer alguna escala de progresión que nos permita visualizar el tránsito desde un conocimiento intuitivo y cotidiano a un conocimiento que se aproxime al referente de la ciencia escolar. Precisamente, el sistema de categorías que establecemos en este estudio se ha confeccionado desde esta doble perspectiva.

EL CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN Y EL PROBLEMA INVESTIGADO

Esta investigación forma parte de un proyecto más general dedicado a analizar las aportaciones de la enseñanza-aprendizaje con analogías al desarrollo del pensamiento modelizador de los alumnos sobre el cambio químico. Para ello, hemos diseñado una propuesta didáctica para el nivel de tercer curso de educación secundaria obligatoria que utiliza analogías y el pensamiento analógico como elemento recurrente al que se apela repetidamente dentro de su desarrollo. Dicha propuesta, desarrollada a través de una trama de actividades y analizada a fondo en un estudio anterior (Aragón, Oliva y Navarrete, 2010), fue implementada a lo largo de 16 sesiones de una hora, situación que ha servido como escenario o contexto para la toma de datos. Los estudiantes habían abordado ya previamente, durante el curso anterior, el estudio del cambio químico, pero solo desde un punto de vista fenomenológico. Tanto en dicha ocasión como en esta otra, el aula habitual de trabajo fue el laboratorio, donde disponían de mesas con capacidad para cuatro alumnos cada una.

El enfoque didáctico adoptado puede situarse dentro del marco socioconstructivista, en el que el alumno juega un papel activo y participativo, implicándose en el proceso de aprendizaje, en general, y en los procesos de modelaje, en particular. Se canalizó dicha participación a través del trabajo colectivo en pequeños y grandes grupos, lo que favoreció el debate en torno a los modelos explicativos que se iban generando a partir de los modelos explicativos de partida. Los pequeños grupos formados tuvieron una composición estable de tres o cuatro alumnos.

La trama de contenidos y de actividades planteadas siguió el marco propuesto por Justi y Gilbert para la tarea de elaboración de modelos (Justi y Gilbert, 2002; Justi, 2009) (figura 1). En ella las analogías suponían el hilo conductor del tema y una herramienta útil de aproximación a la representación submicroscópica de la materia abstracta y, en principio, poco accesible para los alumnos. Asimismo, las actividades analógicas se utilizaron con el fin de establecer sistemas de representación apropiados para asignar significados adecuados a los símbolos empleados y para manejar los sistemas de representación. En concreto, se emplearon actividades analógicas en las siguientes fases:

- a) en la fase inicial del proceso de construcción de modelos, para favorecer la evolución de los modelos mentales en los alumnos;
- b) en la fase de representación del modelo, y
- c) en la de contrastación; las actividades de carácter analógico se diseñaron teniendo en cuenta los criterios recogidos en la bibliografía (Oliva *et al.*; 2001).

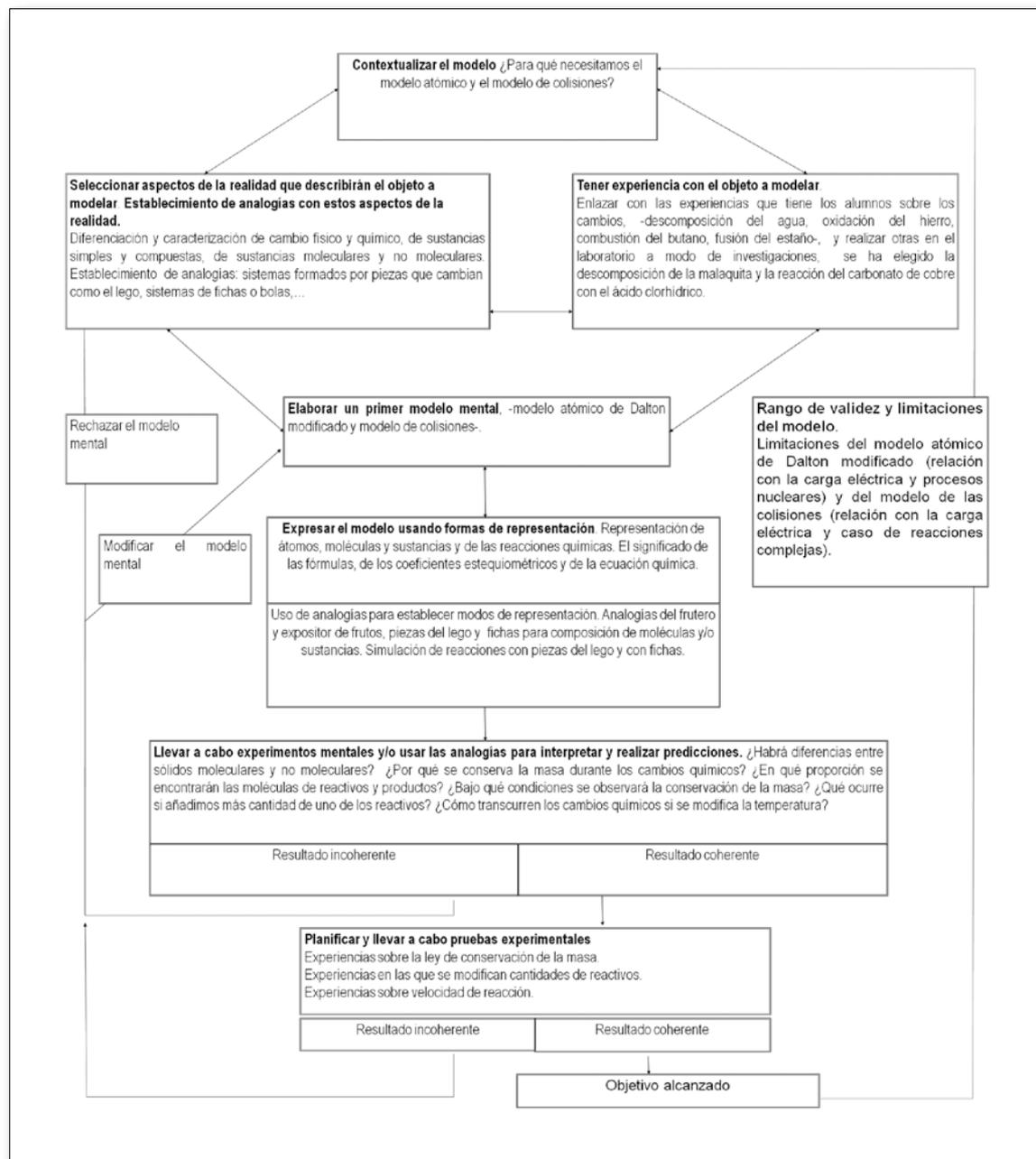


Fig. 1. Contenidos de la propuesta didáctica en relación con el esquema de Justi y Gilbert (2002) para la actividad de modelización

Las analogías empleadas fueron diversas y variadas, y algunas de ellas se utilizaron en distintos momentos del proceso de intervención didáctica. La figura 2 presenta una síntesis de algunas de las planteadas expresamente por el profesor, si bien en ocasiones las analogías fueron propuestas también por los propios alumnos. En el caso de las analogías sugeridas por el profesor, los alumnos adoptaron un papel activo en su proceso de elaboración, unas veces por iniciativa propia a la hora de establecer relaciones entre elementos del objeto y del análogo, y otras a la hora de usarlas, tanto para extraer conclusiones a partir de ellas como para valorar su utilidad o establecer límites de validez para ellas.

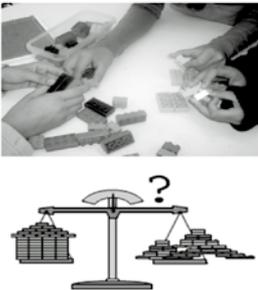
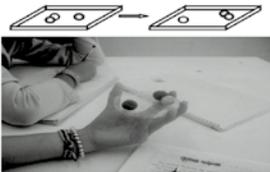
Objeto	Análogo	Análisis de relaciones	Propósito de la analogía
<p>Trabajo de un detective para identificar al culpable en el lugar de un crimen.</p>	Identificación de sustancias químicas.	Del mismo modo que el detective busca pruebas (huellas digitales, ADN, etc.) para identificar al criminal, podemos identificar las sustancias que intervienen en una reacción química a través de sus propiedades características.	Cómo identificar las sustancias químicas que intervienen en un cambio químico.
<p>Juego del lego: piezas que se engarzan y se desmontan.</p> 	Átomos y moléculas.	Del mismo modo que las piezas se pueden ensamblar en estructuras más complejas o se pueden desmontar en estructuras más pequeñas, los átomos se pueden combinar formando moléculas y las moléculas se pueden descomponer en otras más pequeñas. Del mismo modo que podemos representar mediante fórmulas la composición de las estructuras ensambladas del lego, podemos representar las moléculas que intervienen en un cambio químico. Del mismo modo que no se produce variación de masa por el hecho de montar y desmontar piezas, tampoco se produce variación en la masa de un cambio químico.	Conceptualización del cambio químico como ruptura y formación de enlaces entre átomos y/o moléculas. Se produce una reorganización en la forma en la que los átomos están unidos en reactivos y productos.
<p>Representación de frutas y fruteros mediante símbolos y combinaciones de símbolos.</p> 	Átomos y moléculas que se representan mediante símbolos y fórmulas.	Del mismo modo que podemos formar fruteros mediante una cierta variedad y número de frutas, podemos formar moléculas con distintas combinaciones de átomos.	Interpretar la composición de una sustancia y el sentido de una fórmula química.
<p>Una caja que contiene dos bolas de diferente color (una con un imán en el interior y otra no) unidas débilmente mediante la plastilina y otra bola separada de las anteriores con un imán en el interior. Agitamos hasta que chocan.</p> 	Moléculas que chocan en una reacción química.	Del mismo modo que en la caja se produce una redistribución en la forma en la que se unen las bolitas, en el cambio químico se produce una redistribución de átomos dando lugar a moléculas diferentes a las iniciales.	Conceptualización del cambio químico como ruptura y formación de enlaces entre átomos y/o moléculas. Se produce una reorganización en la forma en la que los átomos están unidos en reactivos y productos.
<p>Fichas circulares de colores y combinaciones de fichas, pegadas sobre una pizarra magnética.</p> 	Átomos y moléculas.	Cada ficha circular representa un átomo. Un conjunto de fichas pegadas representan una molécula. Del mismo modo que se puede cambiar la composición de los grupos de fichas, se puede modificar la composición de las moléculas.	Conceptualización del cambio químico como ruptura y formación de enlaces entre átomos y/o moléculas. Se produce una reorganización en la forma en la que los átomos están unidos en reactivos y productos.

Fig. 2. Analogías más importantes empleadas en la propuesta didáctica

De esta forma, las analogías empleadas no solo sirvieron como recurso para facilitar la comprensión del alumnado sobre los distintos modelos de representación de cambio químico (proposicional macroscópico, proposicional submicroscópico, icónico modal e icónico amodal), sino que además sirvieron para que desarrollasen capacidades y valores relacionados con la modelización: aplicar modelos, estimar su utilidad y sus limitaciones, demarcar sus límites y participar en la construcción de

nuevos modelos distintos a los mantenidos inicialmente. Todo ello gracias a la existencia –esa era al menos nuestra hipótesis– de un núcleo común de capacidades y valores inherentes a los procesos de pensamiento analógico y a los de modelización.

En este contexto, la investigación desarrollada que ahora presentamos tenía como objeto analizar la evolución de los modelos explicativos de los alumnos en torno al cambio químico a lo largo de la propuesta didáctica. La cuestión central que orientó la investigación fue la siguiente:

¿Qué modelos explicativos presentan los alumnos inicialmente sobre el cambio químico y qué avances o progresos se producen a lo largo de una propuesta didáctica centrada en el uso de analogías?

Concretamente, los posibles progresos a evaluar podrían moverse en, al menos, tres direcciones:

1. En mejoras en el uso del modelo macroscópico, que se supone será el mayoritario inicialmente en el alumnado.
2. En un uso creciente y más adecuado de otros modelos alternativos al modelo macroscópico, como son el submicroscópico y el simbólico.
3. En una capacidad creciente del alumnado para emplear múltiples modelos que se activan en función del contexto y de la demanda de la tarea planteada.

Paralelamente a este propósito central del estudio, y como paso previo, citaremos otro relacionado con el diseño de un sistema de categorías necesario para evaluar el nivel de progresión en la competencia de modelización de los alumnos en torno al cambio químico. Dicho sistema de categorías tiene interés no solo como instrumento de análisis del presente estudio, sino también como marco conceptual desde el que entender el diseño futuro de propuestas didácticas concretas en este ámbito, así como los procesos de evaluación asociados.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Enfoque de la investigación

Desde un punto de vista metodológico, el enfoque de investigación seguido puede considerarse de tipo fundamentalmente cualitativo, pretendiendo comprender e interpretar los procesos de aprendizaje, si bien se recurre a cálculos de frecuencia y a pruebas no paramétricas a la hora de analizar el alcance de los cambios detectados.

Se estudia la realidad en el contexto natural en el que se produce, el aula. Al mismo tiempo, la investigación intenta transformar la propia realidad, interviniendo en el proceso de enseñanza-aprendizaje con la intención de introducir mejoras en este.

Por otra parte, un rasgo característico del estudio ha sido su carácter longitudinal, por cuanto se analiza información procedente de los alumnos a través de distintos momentos del proceso de intervención didáctica. De esta forma, se pretende adoptar una perspectiva dinámica de los modelos construidos componiendo, más allá de una “fotografía” estática, una especie de “película” que nos ayude a reconstruir lo sucedido a lo largo de la experiencia didáctica (Navarrete, 2003).

La recogida de datos tuvo lugar fundamentalmente en el aula, medio natural en el que se desarrolló la situación de aprendizaje, a través de estrategias interactivas, observaciones, análisis de documentos y entrevistas. Los datos recogen información de todo el proceso, evaluando los modelos explicativos de los alumnos antes, durante y un mes después de finalizar la propuesta; asimismo, reflejan los cambios encontrados en los modelos explicativos de los alumnos.

Característica de la muestra

La muestra objeto de este estudio (N = 35) estuvo formada por dos grupos-clase de 3.º de ESO a los que se impartía la materia de Física y Química con carácter cuatrimestral, dedicando cuatro horas semanales de clase durante la mitad del curso académico, el primer cuatrimestre. El primero de los grupos era de 15 alumnos, integrado por 11 chicas y 4 chicos, y el segundo de 20, de ellos 13 chicas y 7 chicos. Los alumnos pertenecían a un centro público de una capital, con un nivel socioeconómico familiar medio y estaban habituados a trabajar en grupos colaborativos.

Ambos grupos, durante el diseño puesto en juego, estuvieron a cargo de la misma profesora, quien adoptó el rol de observadora participante además de investigadora y autora, entre otros, de este trabajo. Se trataba con ello de que la investigación tuviera un máximo de implicación en la práctica real del aula, actuando esta como escenario natural en el que el profesor investiga a la vez que interviene.

Técnicas e instrumentos de recogida de información

La tabla 1 ofrece una perspectiva sintética de conjunto de los instrumentos y las fases de recogida de información de la investigación realizada. Asimismo, el anexo final presenta algunos ejemplos de tareas propuestas a los alumnos a lo largo de la investigación.

Tabla 1.
Resumen esquemático de instrumentos de recogida de datos empleados en los distintos momentos de la investigación (véanse ejemplos de tareas concretas en el anexo)

Instrumentos de recogida de información	Momento del desarrollo de la unidad	Propósitos	Tipo de tareas planteadas
Portafolio del alumno (cuestionario inicial)	Momento 1 (Justo antes de iniciar la propuesta)	Explorar los modelos explicativos iniciales de los alumnos	<ul style="list-style-type: none"> – Diferenciación justificada de cambios físicos y cambios químicos. – Interpretación y representación de sustancias a partir de su fórmula. – Diferenciación entre sustancia y mezcla. – Interpretación de procesos de combustión (papel y magnesio). – Interpretación del aumento de peso de hierro oxidado. – Predicción argumentada en torno a la conservación o no de la masa en la combustión de una vela.
Portafolio del alumno (actividades individuales y grupales plasmadas en el portafolio de cada alumno y exámenes)	Momento 2 (A lo largo del desarrollo de la propuesta)	Analizar los conocimientos que van adquiriendo los alumnos a través del desarrollo de la unidad didáctica.	<ul style="list-style-type: none"> – Observación y descripción de experiencias. – Diferenciación de fenómenos y procesos. – Establecimiento de relaciones en las analogías planteadas. – Aplicación de las analogías construidas. – Establecimiento de límites para las analogías. – Uso de analogías para introducir el modelo atómico y la interpretación mediante el de nociones como la de materia, sustancia y cambio químico. – Uso de códigos y lenguajes para representar fenómenos. – Uso del modelo de sustancia y de cambio químico para la representación e interpretación de procesos químicos. – Realización de predicciones. – Formulación parcial o total de analogías personales.
Otros: entrevistas individuales semiestructuradas puntuales, diario de profesora, cuaderno de notas, grabaciones en audio de aula		Aclarar dudas sobre la información recogida en el portafolio, así como completar y contrastar informaciones parciales e incompletas plasmadas en este	
	Momento 3 (un mes después)	Explorar los modelos explicativos finales de los alumnos	Las mismas del cuestionario inicial (momento 1)

El instrumento fundamental del estudio que aquí presentamos consistió en el portafolio del alumno, como documento en el que se refleja el trabajo de los estudiantes en clase, los progresos que van alcanzando y sus valoraciones e impresiones sobre su proceso de aprendizaje. Asimismo, se incluyen las anotaciones que introduce el profesor con ocasión de las revisiones y correcciones correspondientes. Más concretamente, en cuanto a actividades se refiere, incluía:

- a) Actividades iniciales exploratorias correspondientes al primer momento de la intervención didáctica, al objeto de detectar los modelos explicativos iniciales de los alumnos sobre el cambio químico (momento 1). Uno de los alumnos no completó estas actividades, por lo que se carece de información referente a su nivel de partida.
- b) Actividades desarrolladas durante la unidad propiamente dicha, es decir, las correspondientes al segundo momento de la intervención, incluidas las actividades realizadas individualmente o en grupo y exámenes (momento 2) (ver tabla 1 así como figuras 1 y 2). Los alumnos debían recoger en su portafolio el desarrollo de las actividades individuales y de grupo, así como las discusiones del grupo-clase. Pueden encontrarse más detalles al respecto en Aragón, Oliva y Navarrete (2010). La información recopilada a través de esta vía fue completada con informaciones parciales obtenidas mediante entrevistas individuales y semiestructuradas, realizadas solo en ocasiones puntuales para ampliar y/o aclarar información procedente del portafolio cuando esta parecía insuficiente o confusa. Con el mismo propósito se recurrió también a algunas transcripciones extraídas del diario y del cuaderno de notas del profesor-observador, así como a algunas grabaciones de audio tomadas durante las discusiones de aula.
- c) Realización, de nuevo, de las actividades exploratorias hechas en el momento 1, esta vez un mes después de finalizar la unidad (momento 3). Dichas actividades sirvieron tanto como oportunidad de reflexión para el alumno acerca de su propio aprendizaje, como instrumento para evaluar los aprendizajes alcanzados y proceder al estudio comparativo de los modelos explicativos disponibles antes y después de la implementación de la unidad.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Al objeto de ordenar y sistematizar la información disponible de cada alumno, se elaboró un dossier individual para cada uno en el que se recopilaba la información procedente de los distintos instrumentos, organizados por momentos. En este análisis interesaba la información tanto de carácter textual como en forma de dibujos. Dicha información se fragmentó en unidades de análisis que, posteriormente, fueron clasificadas según un sistema de categorías que tuvo como finalidad posibilitar el análisis de los modelos expresados sobre el cambio químico. En este sentido, si bien el marco teórico proporcionó un referente de partida para el análisis de los datos del estudio, el sistema de categorías que presentamos fue el resultado de sucesivos ajustes y modificaciones parciales sobre el inicialmente concebido. De este modo, los resultados obtenidos sirvieron asimismo para demarcar y concretar las dimensiones consideradas y, sobre todo, los niveles de progresión contemplados para cada uno. De ahí que, en parte, el sistema de categorías pueda considerarse un producto emergente del estudio realizado y, en consecuencia, de la investigación.

El sistema de categorías planteado combina los formatos de representación previstos por Barsalou (1999) con los ámbitos de explicación propuestos por Johnstone (1982) para el estudio de la materia. De esta forma, se delimitaron las siguientes cuatro dimensiones:

- a) *Modelos proposicionales macroscópicos*. Constituidos por las representaciones proposicionales de la realidad observable. Los modelos proposicionales macroscópicos detectados en nuestro caso son fundamentalmente verbales. Desde el punto de vista de la ciencia escolar, el empleo del modelo proposicional macroscópico requiere el uso de los conceptos de mezcla, sustancia, sustancia elemental, compuesto, masa, propiedad, características, cambio físico, cambio químico y conservación, así como el establecimiento de las relaciones adecuadas entre estos.
- b) *Modelos proposicionales submicroscópicos*. Corresponden a las representaciones proposicionales de la interpretación de procesos mediante partículas submicroscópicas, como átomos o moléculas, que no pueden ser directamente observadas. En el marco del modelo escolar deseable, el empleo de representaciones proposicionales submicroscópicas requiere el manejo verbal de las ideas básicas que conforman el modelo cinético molecular de la materia, el modelo atómico y el modelo de las colisiones.
- c) *Modelos icónicos modales*. Formados por representaciones del cambio químico que hacen uso de diagramas de partículas, guardando los símbolos empleados una cierta relación de similitud con los objetos que representan, átomos y moléculas fundamentalmente. Aunque cabrían aquí representaciones pictóricas de los cambios a escala macroscópica, no serán objeto de nuestro estudio, dada la poca frecuencia con que las emplean los estudiantes.
- d) *Modelos icónicos amodales*. Constituidos por símbolos que no guardan relación de semejanza con el objeto representado. Es el caso de los símbolos de elementos y las fórmulas. Requieren, además del manejo de los símbolos de los elementos, la utilización de las fórmulas químicas y la representación de una reacción química mediante la ecuación química ajustada correspondiente.

La figura 3 muestra ejemplos de segmentos de información obtenidos que son coherentes con cada uno de estos cuatro modelos o sistemas de representación.

Es importante tener en cuenta cada una de estas categorías y no reducir la categorización de información a los tres ámbitos de Johnstone, dado que a veces pueden esconderse representaciones implícitas de un tipo bajo la apariencia de otro. Así, por ejemplo, los modelos simbólicos usados por los alumnos parecen estar constituidos fundamentalmente por diagramas de partículas, símbolos químicos, fórmulas y ecuaciones. No obstante, algo que pudimos comprobar es que no siempre los alumnos asumen el papel que los expertos dan a las representaciones simbólicas (Casado *et al.*, 2005; Treagust, Chittleborough y Mamiala, 2003), pudiendo no haber una relación directa entre la comprensión submicroscópica de un fenómeno y su representación mediante diagramas de partículas. Del mismo modo, la capacidad de representar una reacción mediante una ecuación química ajustada no garantiza la capacidad de representación mediante diagramas de partículas (Kern *et al.*, 2010), dado que, en ocasiones, los alumnos pueden ver las ecuaciones químicas como una mera manipulación matemática, sin que su manejo asegure un conocimiento del significado de los símbolos empleados (De Jong *et al.*, 2007). Por ello, aunque las representaciones simbólicas que realizan nuestros alumnos puedan ser interpretadas por los expertos como interpretaciones submicroscópicas, los alumnos no tienen por qué realizar las mismas inferencias. Esto nos lleva a categorizar de forma distinta las representaciones simbólicas y las representaciones en las que se explicita la interpretación submicroscópica del cambio químico.

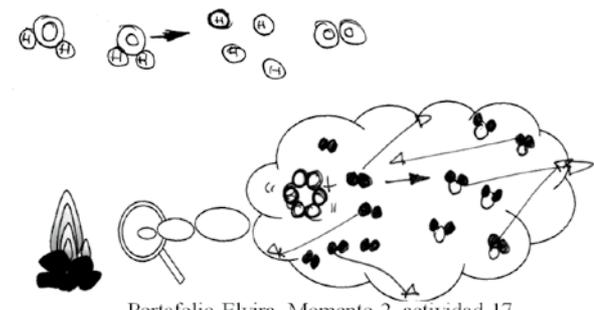
TIPOS DE MODELOS	EJEMPLOS DE FRAGMENTOS DE INFORMACIÓN
<p>Modelo proposicional macroscópico</p>	<p>"El estaño es un sólido que no se descompone ya que es una sustancia pura y no una mezcla como el H₂O, agua, mezcla de hidrógeno y oxígeno que se pueden separar con una simple corriente eléctrica" (portafolio Pilar, momento 3, actividad 1).</p> <p>"Experiencia A. En esta experiencia se mezcla el azufre con el hierro, pero forma una mezcla heterogénea y el hierro al ser un sólido que es atraído por el imán se separa del azufre, no se produce ningún cambio de sustancia. Experiencia B. En esta experiencia al calentar la mezcla, el hierro a estado líquido mezclándose con el azufre formando una sustancia nueva que no se atrae por ningún imán" (portafolio Roberto, momento 3, actividad)</p>
<p>Modelo proposicional submicroscópico</p>	<p>"Si lo contradice, porque la ley de la conservación de la masa dice en un cambio físico o químico la masa es siempre la misma debido a que ni aparecen ni desaparecen ninguno de los átomos, nada más que se rompen las moléculas por lo que los átomos se unen con otros formando otras distintas" (Portafolio Fátima. Momento 2, examen).</p> <p>"Aquí las moléculas no cambian solamente empiezan a moverse más rápido haciendo que se distancien entre ellas y choquen produciendo un cambio de estado, un cambio físico" (Portafolio Charo. Momento 2, actividad 17).</p>
<p>Modelo icónico modal</p>	<p>) 2 → dos moléculas z → dos átomos.</p>  <p>Portafolio Elvira. Momento 2, actividad 17</p>
<p>Modelo icónico amodal</p>	<p>----- SUSTANCIAS INICIALES SUSTANCIAS FINALES ----- $Mg + O_2 = MgO + CO_2$ -----</p> <p>Portafolio Manu. Momento 1, actividad 6</p> <p>Amoniaco → Di-nitrógeno + dihidrógeno $NH_3 \rightarrow N_2 + H_2$ metano(g) + dióxido de carbono(g) → dióxido de carbono(g) + agua(l) $CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$</p> <p>Portafolio Sara. Momento 2, examen</p>

Fig. 3. Ejemplos de fragmentos de información categorizados según los distintos tipos de modelos

Para cada una de estas categorías, contemplamos, además, cinco subcategorías con estructura de escala ordinal que describen el grado de aproximación de los modelos explicativos de los alumnos a los modelos deseables, es decir, definen los niveles de progresión para cada modelo. Estos niveles de progresión son:

- Nivel I: No se llega a usar el modelo.
- Nivel II: Se usa el modelo pero con graves carencias, manifestando concepciones alternativas.
- Nivel III o de transición: Se puede usar el modelo a nivel avanzado o básico, pero en ocasiones se siguen manteniendo carencias en su empleo, lo que muestra concepciones alternativas.
- Nivel IV o nivel básico: Se usa el modelo al menos a un nivel básico. No se ponen de manifiesto ideas alternativas, pero pueden recurrir a algunas imprecisiones en el lenguaje o incluso a omitir algunos aspectos relevantes del modelo.
- Nivel V o avanzado: Se usa el modelo con cierto grado de profundidad.

Estos niveles nos permiten no solo conocer qué modelos utiliza un alumno en una fase o momento dado del proceso de intervención, sino también dilucidar con qué grado de proximidad lo emplea respecto al punto de vista de la ciencia escolar. Conviene hacer mención aquí que, para cada momento del análisis, los alumnos solían emplear diversos modelos explicativos. Dentro de un mismo modelo, los niveles de explicación asignados se mantuvieron normalmente estables para las distintas tareas o actividades planteadas en ese momento. Ello nos permitió definir, globalmente para cada momento, perfiles con un importante grado de consistencia interna, así como categorizar cada perfil dentro de un nivel específico para cada uno de los respectivos modelos. Justamente, para aquellos casos en los que los alumnos recurrían a un determinado modelo, empleando unas veces explicaciones adecuadas y otras alternativas, definimos el nivel III de transición.

Durante todo el proceso de análisis intervinieron continuamente, al menos, dos investigadores que consensuaron y negociaron sus posiciones hasta alcanzar criterios de análisis conjuntos. Al tener estas una naturaleza ordinal, el sistema de categorías establecido permitió situar a cada alumno en un nivel determinado de progresión para cada uno de los tipos de modelos considerados, y para cada uno de los momentos de la propuesta didáctica.

Posteriormente, se realizó un análisis longitudinal sobre los modelos explicativos de la muestra en su conjunto a lo largo de los tres momentos del desarrollo de la unidad didáctica. En este sentido, la evolución en los modelos explicativos de los alumnos pudo analizarse contrastando los cambios en cada una de las cuatro escalas de progresión definidas, una para cada una de las dimensiones consideradas.

LA EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS EXPLICATIVOS A LO LARGO DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA

El análisis de las distribuciones de frecuencias del uso de los modelos por cada alumno puede darnos una visión de los cambios, a nivel global, que se han ido logrando a lo largo de la propuesta didáctica.

Así, tal como podemos apreciar en la tabla 2(a), la mayoría de los alumnos, 22 de 34, utiliza el modelo proposicional macroscópico inicialmente, aunque con graves carencias e ideas alternativas, situándose 15 de ellos en el nivel II. Durante el desarrollo de la unidad, esta situación se modifica, tanto cualitativa como cuantitativamente, extendiéndose su uso a la totalidad y mejorando el grado de progresión de una amplia mayoría. Tras la enseñanza, un mes después de la implementación de la unidad, la situación es muy similar, produciéndose un ligero retroceso respecto al nivel de progresión alcanzado durante el momento 2.

Tabla 2.
Distribución de frecuencias de alumnos para los distintos modelos
y en los distintos momentos del proceso de intervención didáctica

<i>Modelo proposicional macroscópico (a)</i>			<i>Modelo proposicional submicroscópico (b)</i>				
	<i>Momento 1*</i>	<i>Momento 2</i>	<i>Momento 3</i>		<i>Momento 1*</i>	<i>Momento 2</i>	<i>Momento 3</i>
I	12	0	0	I	25	2	3
II	15	3	6	II	3	4	4
III	7	10	10	III	5	12	10
IV	0	6	3	IV	1	4	4
V	0	16	16	V	0	13	14
<i>Modelo icónico modal (c)</i>			<i>Modelo icónico amodal (d)</i>				
	<i>Momento 1*</i>	<i>Momento 2</i>	<i>Momento 3</i>		<i>Momento 1*</i>	<i>Momento 2</i>	<i>Momento 3</i>
I	8	0	2	I	32	0	2
II	15	2	2	II	2	2	2
III	11	7	3	III	0	2	3
IV	0	2	2	IV	0	8	7
V	0	24	26	V	0	23	21

* [En el momento 1, uno de los alumnos no cumplimentó el cuestionario correspondiente.]

En el caso del modelo proposicional submicroscópico, tabla 2(b), la situación es algo diferente. Así, inicialmente, los alumnos apenas utilizan dicho modelo, al menos con niveles mínimos de adecuación. Mientras tanto, a lo largo de la unidad, 17 alumnos lo usan al menos a un nivel básico y, de estos, 13 lo hacen en un nivel avanzado. La situación es similar un mes después de haber finalizado la unidad.

Con respecto al modelo icónico modal, como se aprecia en la tabla 2(c), una mayoría, 26 del total de la muestra, fue capaz de utilizarlo al inicio de la unidad para representar moléculas mediante sistemas de esferas, conocida la fórmula de estas, aunque muy pocos asignaron significados adecuados a los símbolos empleados. La evolución en el uso de este modelo ha sido muy positiva, siendo la mayor parte de los alumnos, 26 de 35, capaz de emplearlo con un cierto nivel de profundidad, produciéndose incluso un ligero avance un mes después de finalizar la unidad didáctica. Esta mejora puede haberse producido tras las evaluaciones que se iban sucediendo durante el proceso de enseñanza-aprendizaje.

La tabla 2(d) nos muestra una panorámica sobre los avances registrados en el empleo del modelo icónico amodal. La práctica totalidad de los alumnos no empleaba el modelo icónico modal antes de la enseñanza, si bien durante la implementación de la unidad se produjo una evolución muy favorable en el desarrollo del modelo, ya que llegaron a manejarlo en un nivel al menos básico 31 estudiantes, de los que 23 lo hacían de forma avanzada. Un mes después de la enseñanza se produce una ligera disminución, pues son 28 alumnos los que lo utilizan adecuadamente. Señalamos que a algunos alumnos les resultó complejo lograr un nivel avanzado debido a la necesidad de dominar los conceptos y las habilidades matemáticas para ajustar las ecuaciones químicas.

En resumidas cuentas, el estudio evolutivo nos muestra una progresión en los modelos explicativos de los alumnos a lo largo de la propuesta didáctica.

Asimismo, es posible realizar un análisis más exhaustivo mediante el estudio de los cambios en los modelos explicativos de los alumnos a nivel individual. Para ello, hemos comparado, a través de tablas

de contingencia, los niveles de progresión de cada alumno antes y después del proceso de enseñanza (momentos 1 y 3, respectivamente) (tabla 3).

Tabla 3.
Distribución de frecuencias de alumnos para los distintos modelos
y en los distintos momentos del proceso de intervención didáctica

<i>Modelo proposicional macroscópico (a)</i>						<i>Modelo proposicional submicroscópico (b)</i>					
Momento 3 Momento 1	I	II	III	IV	V	Momento 3 Momento 1	I	II	III	IV	V
I		3	4		5	I	3	4	8	3	7
II		3	3	3	6	II			2		1
III			2		5	III				1	4
IV						IV					1
V						V					
<i>Modelo icónico modal (c)</i>						<i>Modelo icónico amodal (d)</i>					
Momento 3 Momento 1	I	II	III	IV	V	Momento 3 Momento 1	I	II	III	IV	V
I	2		2	1	3	I	2	2	3	5	20
II		2	1		12	II				1	1
III				1	10	III					
IV						IV					
V						V					

En este análisis la muestra se reduce a $N = 34$, dado que uno de los alumnos no completó el cuestionario inicial.

La diagonal de cada tabla contabiliza los alumnos que mantienen el mismo nivel de progresión antes y un mes después de la enseñanza. Los que se sitúan por arriba son los que progresan a lo largo de ese periodo, tanto más cuanto más se acerquen a la casilla del extremo superior derecho. Mientras tanto, los que podrían aparecer por debajo marcarían un retroceso. Puede apreciarse que ninguno de los 35 alumnos sufre retrocesos en ninguno de los cuatro modelos considerados, si bien algunos alumnos puntuales sí parecen estancados sin que aparentemente se hayan operado cambios en sus modelos explicativos. En cuanto a las mejoras observadas, cabe decir que 23 de los 34 alumnos que cumplieron el cuestionario inicial y el final mejoran significativamente en el uso del modelo macroscópico, 5 no mejoran y 6 lo hacen de forma poco significativa. En relación con el modelo submicroscópico, 25 alumnos evolucionan favorablemente respecto a su empleo, 6 mejoran de modo poco significativo y 3 no logran progresar. Por otro lado, la mayoría de los alumnos, 28 de 34, progresan en el empleo del modelo icónico modal, 2 apenas mejoran y otros 4 no evolucionan. Finalmente, en relación con el modelo icónico amodal, 30 mejoran ostensiblemente, 2 mejoran poco y 2 no logran mejorar. Desde el punto de vista global, todos los alumnos mejoraron en alguna escala, si bien en tres de ellos las mejoras fueron escasas.

Aunque los resultados parecen bastante concluyentes y hablan por sí mismos, lo habitual, en estos casos, es apoyar las evidencias aparentes mediante alguna prueba específica que confirme si las diferencias detectadas en cada caso son o no estadísticamente significativas. Con tal fin, realizamos la prueba estadística no paramétrica de los rangos con signos de Wilcoxon, la cual mostró diferencias estadísticamente significativas entre el momento 1, por un lado, y el momento 2 y 3, por otro, sin que

las leves variaciones apreciadas entre estos dos últimos resultados estadísticamente significativas. Más concretamente, la tabla 4 muestra detalles acerca de los estadísticos y grados de significación obtenidos en cada una de las comparaciones efectuadas.

Tabla 4.
Resultados de la prueba de Wilcoxon para el análisis de los cambios en los niveles de progresión de los modelos explicativos del alumnado.

<i>Modelo proposicional macroscópico (a)</i>				<i>Modelo proposicional submicroscópico (b)</i>			
	Momento 1- Momento 2	Momento 1- Momento 3	Momento 2- Momento 3		Momento 1- Momento 2	Momento 1- Momento 3	Momento 2- Momento 3
Estadístico Z	-4,584	-4,756	-1,104	Estadístico Z	-4,999	-4,912	-0,087
p<	0,001	0,001	NS	p<	0,001	0,001	NS
<i>Modelo icónico modal (c)</i>				<i>Modelo icónico amodal (d)</i>			
	Momento 1- Momento 2	Momento 1- Momento 3	Momento 2- Momento 3		Momento 1- Momento 2	Momento 1- Momento 3	Momento 2- Momento 3
Estadístico Z	-4,864	-4,867	0,000	Estadístico Z	-5,245	-5,092	-1,461
p<	0,001	0,001	NS	p<	0,001	0,001	NS

NS. No significativa.

ANÁLISIS DE LA MULTIPLICIDAD O CONCURRENCIA DE MODELOS EN UN MISMO ALUMNO

En cuanto al uso de múltiples modelos, como hemos visto, los alumnos, por lo general, solo tienden a utilizar inicialmente, en el mejor de los casos y con enormes limitaciones, el modelo proposicional macroscópico y el modelo icónico modal. Resulta, pues, de interés analizar la concurrencia de múltiples modelos en un mismo alumno después de la enseñanza, al objeto de comprobar en qué medida uno de los resultados del aprendizaje es no solo hacer evolucionar determinados modelos de cambio químico, sino también el uso de múltiples modelos.

Para realizar este análisis, se han contabilizado para cada uno de los estudiantes los modelos que utilizan en el momento 3 de la implementación de la unidad, es decir, un mes después de su finalización, que hemos tomado como referencia. De los 35 alumnos que constituyen el total de la muestras, 14 usan los cuatro modelos explicativos del cambio químico al menos a nivel básico, 7 alumnos usan tres modelos (submicroscópico/modal/amodal o macroscópico/modal/amodal), 7 usan dos modelos (5 alumnos modal/amodal, 1 alumno macroscópico/amodal, 1 alumno submicroscópico/modal) y otros 2 alumnos usan solo uno (modal o amodal). Por tanto, la mayoría de alumnos utilizan múltiples modelos. Como ya comentamos, el modelo más complejo parece ser el proposicional submicroscópico, ya que casi todos los que utilizan el modelo proposicional submicroscópico emplean también los modelos icónicos, tanto el modal como el amodal, sin que se presente la situación inversa.

Otro análisis de interés, complementario de los anteriores, es el estudio de la secuencia de dificultad de acceso a cada uno de los cuatro modelos considerados. Aunque las tablas 2 y 3 apuntan a una secuencia de complejidad según la cual el acceso a los modelos icónicos, preferentemente el modal, sería más asequible que el acceso a los modelos proposicionales, la contrastación de dicha idea pasaría por un análisis más pormenorizado, alumno por alumno. Al objeto de no extendernos demasiado, hemos reducido nuestro análisis a la comparación del uso en el momento 3 del modelo proposicional submicroscópico y de los modelos icónico modal e icónico amodal, respectivamente (tabla 5).

Tabla 5.
Comparación en el momento 3 del uso del modelo proposicional submicroscópico y de los modelos icónico modal (a) e icónico amodal (b)

(a)						(b)					
Ic. modal Prop. Sub.	I	II	III	IV	V	Ic. amodal Prop. Sub.	I	II	III	IV	V
I	1	1			1	I	1	1		1	
II		1	2		1	II		1	2	1	
III	1		1		8	III	1		1	2	6
IV				1	3	IV				2	2
V				1	13	V				1	13

Como se desprende de la tabla 5, el empleo adecuado del modelo icónico, ya sea modal o amodal, no implica el uso adecuado del modelo proposicional submicroscópico. Por tanto, parece que el modelo proposicional submicroscópico es el más complejo y, además, su dominio recapitula de alguna forma el dominio de los otros tres. Es decir, parece que utilizar el modelo proposicional submicroscópico exige el dominio previo de los otros. El aprendizaje del modelo icónico modal no garantiza el aprendizaje del modelo proposicional submicroscópico. Ello nos indica que los alumnos que usan el modelo icónico modal pero no el modelo proposicional submicroscópico no han completado la transferencia de significados entre ambos, siendo preciso encontrar los mecanismos apropiados, teniendo en cuenta, además, la dificultad del proceso de apropiación del discurso científico.

CONCLUSIONES

Basándonos en los estudios previos sobre el tema (Johnstone, 1982; Galagovsky *et al.*, 2003), hemos establecido un sistema de categorías que permite identificar los modelos empleados por los alumnos sobre el cambio químico, los niveles de progresión en su uso y su evolución a lo largo del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Inicialmente, la mayoría de los estudiantes usan el modelo proposicional macroscópico, el cual se muestra como el más intuitivo, aunque lo emplean de forma inadecuada, mostrando concepciones alternativas. Muy pocos alumnos usan los modelos proposicional submicroscópico, icónico modal e icónico amodal, y los que lo hacen se alejan del modelo esperado.

Durante el desarrollo de la unidad se aprecia una evolución positiva de los alumnos en los cuatro modelos explicativos. Globalmente, todos los alumnos mejoran en alguna escala, aunque en unos pocos las mejoras fueron escasas.

Del análisis efectuado, podemos considerar que, en primer lugar, emerge el modelo proposicional macroscópico, que sería el más evidente e intuitivo para los alumnos; de hecho es el modelo más empleado al inicio de la enseñanza. La progresión en este modelo puede verse favorecida luego por el desarrollo del resto, puesto que muchos alumnos apoyan sus razonamientos a escala macroscópica con ideas procedentes de los demás modelos.

El desarrollo de los modelos restantes es posterior, alternándose y simultaneándose en las explicaciones de los estudiantes, pero llevando primero a la consolidación de los modelos icónicos para posteriormente completarse la adquisición del modelo proposicional submicroscópico. Al finalizar la unidad, la mayoría de los alumnos fueron capaces de emplear varios modelos para explicar un determinado fenómeno.

En otro artículo que se encuentra en preparación, analizamos más a fondo, de manera cualitativa, cuáles son los obstáculos y las dificultades que condicionan este panorama. No obstante, podemos ya adelantar que, entre los factores que dificultan el desarrollo del modelo proposicional macroscópico, se encuentran algunos de tipo cognitivo-lingüístico, como el uso de la terminología apropiada y las destrezas relacionadas con la justificación y la argumentación, así como la competencia entre las ideas propias del modelo y las concepciones alternativas. El desarrollo del modelo proposicional submicroscópico y los icónicos se van simultaneando y alternando, consolidándose antes el modelo icónico modal y el icónico amodal, cuyos desarrollos parecen condicionar la adquisición del modelo proposicional submicroscópico.

Aunque no podemos discernir con exactitud qué factores han propiciado una evolución satisfactoria de los modelos explicativos de los alumnos, entre los muchos que han entrado en juego cabe suponer que el uso continuado de analogías podría ser uno de los que más influjo habrá ejercido. En efecto, aunque elementos tales como el aprendizaje en grupos colaborativos, las relaciones creadas entre los alumnos, el clima del aula, la metodología de trabajo en el aula, la implicación de los estudiantes en el proceso de modelización, etc., podrían estar en la base de los cambios positivos encontrados, podemos pensar que las actividades analógicas habrán jugado un papel importante en el aprendizaje de los modelos explicativos de los alumnos. Esta idea es apoyada por los resultados especialmente satisfactorios en el empleo del modelo icónico modal, que es fundamentalmente un modelo analógico, y por la vinculación que parece existir entre el dominio de los modelos icónicos y el proposicional submicroscópico. En consecuencia, parece que las analogías empleadas, así como el trabajo de los alumnos con ellas propiciado en la dinámica de clase, podrían ser uno de los factores principales que haya posibilitado la superación de muchas de las dificultades que autores como De Jong y Taber (2007) describen para las situaciones habituales de aula.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSSON, B. (1986). Pupils' Explanations of some aspects of chemical reactions. *Science Education*, 70, pp. 549-563.
- ARAGÓN, M.^a M.; OLIVA, J. M.^a; y NAVARRETE, A. (2010). Analogías y modelización en la enseñanza del cambio químico. *Investigación en la escuela*, 71, pp. 93-114.
- BARSALOU, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 21, pp. 577-609.
- 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), pp. 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, pp. 237-261.
- CASADO, G. y RAVIOLO, A. (2005). Las dificultades de los alumnos al relacionar distintos niveles de representación de una reacción química. *Universitas Scientiarum*, 10, pp. 35-43.
- 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.
- CHASTRETTE, M. y FRANCO, M. (1991). La reacción química. Descripciones e interpretaciones de los alumnos de liceo. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(3), pp. 243-247.
- DAGHER, Z. R. (1994). Does the use of analogies contribute to conceptual change? *Science Education*, 78(6), pp. 601-614.

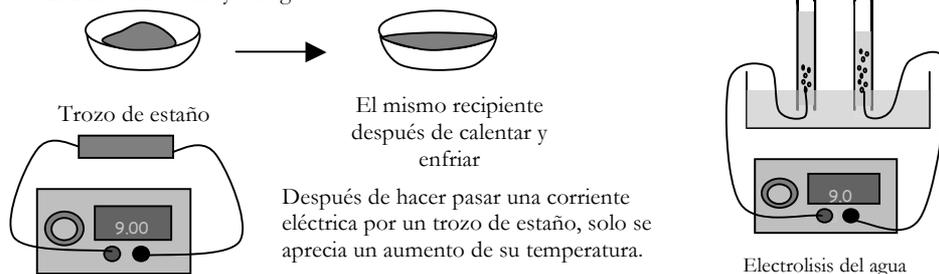
- DE JONG, O. y TABER, K. (2007). Teaching and learning the many faces of chemistry. En S. K. Abell y N. G. Lederman (eds.). *Handbook of Research on Science Education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Publishers, pp. 631-652.
- DUIT, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), pp. 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). En línea: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/N1/3artigo.htm>>.
- ESPÍNDOLA, C. y CAPPANNINI, O. (2010). Cambios en las representaciones sobre estructura de la materia en estudiantes entre secundario básico y universidad. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), pp. 145-167.
- FLORES CAMACHO, F.; GALLEGOS-CÁCERES, L.; GARRITZ, A. y GARCÍA FRANCO, A. (2007). Incommensurability and multiple models: Representations of the structure of matter in undergraduate chemistry students. *Science and Education*, 16(7-8), pp. 775-800.
- FURIÓ MÁ, C. y DOMÍNGUEZ, C. (2007). Problemas históricos y dificultades de los estudiantes en la conceptualización de sustancia y compuesto químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(2), pp. 241-258.
- GALAGOVSKY, L., RODRÍGUEZ, M. A., STAMATI, N. y MORALES, L. (2003). Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de las ciencias naturales. Un ejemplo para el aprendizaje del concepto de reacción química a partir del concepto de mezcla. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), pp. 107-121.
- GARRITZ RUIZ, A. y GALLEGO-CÁZARES, L. (2004). Representación continua y discreta de la materia en estudiantes de Química. *Educación química*, 15(3), pp. 234-242.
- GILBERT, J. K. (1993). *Models and modelling in science education*. Hatfield, UK: Association for science education.
- GILBERT J. K. y TREAGUST, D. (2009). Multiple Representations in Chemical Education. Gilbert J. K., Treagust, D. Editors. Springer.
- 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), pp. 1325-1343.
- HOLLAND, J. H.; HOLYOACK, K. J.; NISBETT, R. E. y TAGHARD, P. (1986). *Induction: Processes of Inference, Learning and Discovery*. Cambridge: MIT Press.
- HARRISON, A. G. y TREAGUST, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 1011-1026.
- JENSEN, W. B. (1998). Logic, history and the chemistry textbook. *Journal of Chemical Education*, 75, pp. 817-828.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge: Cambridge/University Press.
- JOHNSTONE, A. H. (1982). Macro and micro chemistry. *School Science Review*, 64, pp. 295-305.
- JUSTI, R. y GILBERT, J. K. (2002). Modelling teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), pp. 369-387.
- JUSTI, R. (2009). Learning how to model in science classroom. Key teachers role in supporting the development of students modelling skills. *Educación química*, 20(1), pp. 32-40.
- KEIG P. F. y RUBBA, P. A. (1993). Translations of representations of the structure of matter and its relationship to reasoning, gender, spatial reasoning, and specific prior knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, pp. 883-903.
- KERN, A. L.; WOOD, N. B.; ROEHRIG, G. H. y NYACHWAYA, J. (2010). A qualitative report of the ways high school chemistry students attempt to represent a chemical reaction at the atomic/molecular level. *Chemical Education Research and Practice*, 11(3), pp. 165-172.

- LLORENS, J. A. (1991). *Comenzando a aprender química. Ideas para el diseño curricular*. Aprendizaje-Visor: Madrid.
- MERINO, C.; IZQUIERDO, M. (2011). Aportes a la modelización según el cambio químico. *Educación Química*, 22(3), pp. 212-223.
- MORTIMER, E. F. (1995). Conceptual change or conceptual profil change? *Science Education*. 4(3), pp. 267-285.
- MORTIMER, E. F. (1998). Multivoicedness and univocality in classroom discourse: an example from theory of matter. *International Journal of science education*, 20(1), pp. 67-68.
- MORTIMER, E. y AMARAL, L. O. F. (2007). Conceptual profiles: a research program on teaching and learning scientific concepts. En Mercé Izquierdo, Aureli Caamaño, Mario Quintanilla (eds.). *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar*. Universidad Autónoma de Barcelona.
- NAVARRETE, A. (2003). *Obstáculos y dificultades en la evolución de las estructuras conceptuales y epistemológicas de los futuros maestros: Un estudio de casos sobre el fenómeno de las estaciones*. Tesis doctoral, publicada por ProQuest ISBN: 84-7786-285-0, UMI, n.º 3107335.
- 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*. Lasalle, IL: Open Court, pp. 129-166.
- OLIVA, J. M.; ARAGÓN, M. 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), pp. 453-470.
- OLIVA, J. M. y ARAGÓN, M. M. (2009a). Aportaciones de las analogías al desarrollo del pensamiento modelizador de los alumnos en química. *Educación química*, 20(1), pp. 41-54.
- OLIVA, J. M. y ARAGÓN, M. M. (2009b). Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias: marco teórico. *Enseñanza de las ciencias*, 27(2), pp. 195-208.
- POZO, J. I.; GÓMEZ CRESPO, M. A.; LIMÓN, M.; SANZ, A. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: Las ideas de los adolescentes sobre la química*. Servicio Publicaciones MEC.
- POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W., y GERTZOG, W. A. (1982). Accomodation of scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, pp. 211-227.
- RAVILOLO, A., GARRITZ, A. y SOSA, P. (2011). Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8(3), pp. 240-254. En línea: <<http://hdl.handle.net/10498/14388>>.
- RUSSELL, J. KOZMA, R., JONES, T., WYKOFF, J., MARX, N. y DAVIS, J. (1997). Use of simultaneous-synchronized macroscopic, microscopic, and symbolic representations to enhance the teaching and learning of chemical concepts. *Journal of Chemical Education*, 74 (3), pp. 330-334.
- 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), pp. 3-12.
- TALANQUER, V. (2010). Pensamiento intuitivo en química: suposiciones implícitas y reglas heurísticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(2), pp. 165-174.
- TALANQUER, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, 33 (2), pp. 179-195.
- TREAGUST, D. E.; DUIT, R.; JOSLIN, P. y LINDAVER, I. (1992). Science teachers’ use of analogies: observations from classroom practice. *International Journal of Science Education*, 14(4), pp. 413-422.
- TREAGUST D. E.; CHITTLEBOROUGH, G. y MAMIALA, T. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in Chemical explanations. *International Journal Of Science Education*, 25(11), pp. 1353-1368.

ANEXO

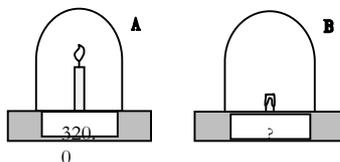
Ejemplos de tareas del cuestionario inicial y final (momentos 1 y 3)

1. El estaño es una sustancia que no se descompone mediante procedimientos químicos. Si calentamos un trozo de estaño solo conseguimos que cambie de estado, y si hacemos pasar a través de un trozo de estaño una corriente eléctrica, este solo se calienta. El agua sí puede descomponerse. Si hacemos pasar a través de ella una corriente eléctrica, observamos la aparición de burbujas que no son de vapor de agua. Explica con todo el detalle que te sea posible el comportamiento diferente del estaño y del agua.



2. Realiza un dibujo representativo para interpretar la fórmula de las sustancias siguientes explicando su significado: helio (He), ozono (O_3), dióxido de carbono (CO_2), acetileno (C_2H_2).
3. Se prende una vela en el interior de una campana. Se pesa todo el conjunto, que resulta ser de 320 g (fig. A). Tras medio minuto, y después de consumirse parte de la vela, la llama se apaga (fig. B). La balanza marcará:

- a) menos de 320,0 g
 b) más de 320,0 g
 c) 320,0 g
- Justifica tu respuesta



Ejemplos de tareas planteadas a lo largo de la propuesta didáctica (momento 2)

Actividad 8. Representa mediante símbolos los siguientes sistemas e indica las semejanzas y diferencias entre los fruteros y las moléculas.

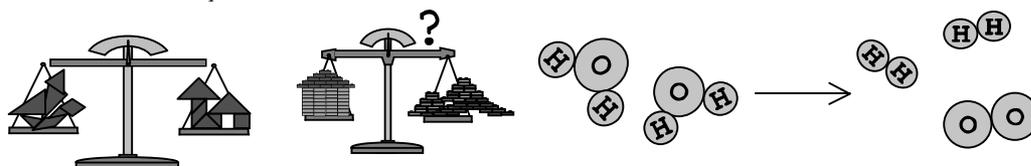


Actividad 9(a). Haciendo uso del modelo mecánico de discos representa y dibuja las moléculas que simbolizan las fórmulas. Explica su significado. Indica cuáles representan sustancias simples y cuáles compuestas (CO_2 , C_4H_{10} , H_2 , O_2).

Actividad 13. Introduce un trozo de lana de hierro en el fondo de un tubo de ensayo. Ponlo boca abajo y colócalo sobre un recipiente con agua. Observa qué le ocurre al sistema a lo largo de una semana interpretando los procesos que tienen lugar mediante el modelo atómico.

Actividad 18. Añade ácido clorhídrico, HCl (aq), a un trozo de cinc, Zn (s). De inmediato se forma gas hidrógeno, H_2 (g), y en disolución queda cloruro de cinc, $ZnCl_2$ (aq). Escribe las ecuaciones que representan las reacciones anteriores e interprétalas a nivel molecular.

Actividad 19. Construye un objeto diferente con las mismas piezas. ¿Qué relación existirá entre el peso de estos objetos? ¿Qué ocurrirá en un cambio químico?



THE DEVELOPMENT OF EXPLANATORY MODELS FOR STUDENTS: A METHODOLOGICAL APPROACH TO CHEMICAL CHANGE USING ANALOGIES

M.^a del Mar Aragón, J. M.^a Oliva, A. Navarrete
Departamento de Didáctica. Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales.
Universidad de Cádiz. España.
mmaragonmendez@gmail.com, josemaria.oliva@uca.es, antonio.navarrete@uca.es

Chemical change is an important concept in science education as it offers an explanation for many aspects of everyday phenomena and helps students understand scientific concepts. The “chemical change” model is one of the basic references in the science curriculum at different levels of education. In the context of science, analogies can be suitable learning tools acting as an interface between students’ everyday knowledge and their understanding of basic signs and codes associated with the chemical change model.

This paper analyses the evolution of 9th grade students’ explanatory models for chemical change. The research focuses on the development of a lesson plan, with analogies used as a resource to develop students’ understanding of chemical change, and develop students’ modelling skills. The study sample consisted of two class-groups (N=35) enrolled in a single semester physics and chemistry course.

Data consisted primarily of student portfolios supplemented by information from semi-structured individual interviews. Teacher notebooks and audio recordings of lessons were also used. Information was collected throughout the learning process, assessing longitudinal changes in students’ explanatory models, before, during and one month after the lesson.

The theoretical framework and the data obtained in the study were used to classify four dimensions or models of students’ representations of chemical change: i) propositional macroscopic models ii) propositional sub microscopic models; iii) modal iconic models (pictorial representations by balls or circles), and iv) amodal iconic models (symbols and chemical formulas). Each category has five subcategories defined for ordinal analysis to classify the approximation of students’ explanatory models to accurate models.

The evolutionary study showed a progression in students’ explanatory models throughout the teaching proposal, with an increasing variety of models used by each student.

This study shows that students begin first with a macroscopic propositional model because it is the most obvious and intuitive for students. Correspondingly, it is the model used at the beginning of the lesson. The progression of this model can be enhanced by the development of other models, as many students support their arguments on a macroscopic scale with ideas from other models. The development of other models occurs when students alternate between different explanations. First consolidation of iconic models occurs and later the acquisition of propositional sub microscopic models. At the end of the lesson the majority of students were able to use several models to explain a given phenomenon.

Although it is not possible to study all factors resulting in students having satisfactory explanatory models, it can be assumed that the use of analogies is one of the most effective.