

En este trabajo se presenta una propuesta de enseñanza-aprendizaje para el tema del cambio químico en educación secundaria obligatoria (9º grado) utilizando analogías como eje vertebrador. Se trataba no solo de aprender modelos para representar sustancias e interpretar el cambio químico, sino también desarrollar competencias relacionadas con los procesos de elaboración de modelos en química. Se presenta primero la estructura y fundamentos de la propuesta, para más tarde pasar a mostrar una crónica de su implementación con una muestra de 15 estudiantes de ese nivel. Como instrumento de recogida de información se utilizó en diario del profesor y el portfolio del alumno. El análisis efectuado permite comprobar la utilidad de las analogías como recurso para procesos de intervención didáctica que intentan promover un aprendizaje significativo del cambio químico, tanto a nivel teórico como en relación a los procesos de modelización implicados y a un conocimiento adecuado sobre la naturaleza de los modelos en química.

PALABRAS CLAVE: *Analogías; Cambio químico; Enseñanza de las ciencias; Modelización.*

Analogías y modelización en la enseñanza del cambio químico

pp. 98-114

María del Mar Aragón*

IIES Drago (Cádiz)

José M. Oliva*

Antonio Navarrete**

Universidad de Cádiz

Introducción

El cambio químico es un contenido importante en la enseñanza de las ciencias puesto que resulta estructurante para el aprendizaje de otros contenidos, resulta útil para explicar muchos fenómenos de la realidad que nos rodea y es básico para comprender muchos contenidos que deben formar parte de la cultura científica del ciudadano (Guillespie, 1997; Reyes y Garritz, 2006). No es de extrañar, por tanto, que la construcción del concepto de cambio químico

aparezca como uno de los ejes centrales del currículo de ciencias tanto en secundaria obligatoria como postobligatoria. De hecho, constituye uno de los primeros temas en la mayoría de los libros de bachillerato desde hace más de un siglo (Jensen, 1998).

No obstante, junto a su indudable relevancia, esta noción encierra un importante grado de complejidad (Chamizo, Nieto y Sosa, 2002; Gómez Crespo, Pozo y Gutiérrez, 2002) y comporta una gama importante de dificultades a la hora de acometer su aprendizaje por parte de

* Instituto de Educación Secundaria Drago. Cádiz. España

** Departamento de Didáctica. Universidad de Cádiz. España

✉ Artículo recibido el 21 de abril de 2009 y aceptado el 29 de junio de 2009.

los alumnos. Así, de un lado, una comprensión profunda de la noción de cambio químico exige un estudio complementario y paralelo a distintos niveles de comprensión, que van desde el macroscópico al submicroscópico, pasando por el simbólico (Johnstone, 1982; Solsona, Izquierdo y de Jong, 2003). De otro, además, los alumnos suelen disponer, ya antes de empezar, de modelos explicativos espontáneos desarrollados para visualizar la materia y sus cambios (Driver et al., 1989; Trinidad-Velasco y Garritz, 2003), normalmente basados en explicaciones descriptivas macroscópicas (Andersson, 1990), o en el mejor de los casos de carácter discontinuo submicroscópico en los que se proyectan propiedades y atributos del mundo macroscópico sobre el nivel atómico-molecular (Gómez Crespo y Pozo, 2004).

Por todo ello, parece razonable que la búsqueda de estrategias y recursos que favorezcan el aprendizaje en este ámbito se convierta en un tema necesario como foco de investigaciones didácticas, y una línea prioritaria dentro de la enseñanza de la química. En este marco podemos situar a las analogías, como elementos del discurso explicativo del profesor y de representación del alumno, a través de las cuales una situación familiar es utilizada para explicar un fenómeno poco familiar y peor conocido (Dagher y Cossman, 1992). En este sentido, las analogías suelen considerarse como una ayuda en la comprensión y desarrollo de las nociones abstractas que manejan los modelos, o como recurso dirigido a cambiar las ideas intuitivas ya existentes por las ideas basadas en los modelos de la ciencia escolar (Posner et al., 1982; Brown y Clement, 1989; Treagust et al., 1992; Duit, 1991; Lawson, 1993; Dagher, 1994; Ceacero, González-Labra y Muñoz-Trillo, 2002). Pero además, hoy día, las analogías no sólo se consideran un instrumento de transposición didáctica de las ideas que manejan los modelos de la ciencia escolar, sino también de los procedimientos, actitudes y valores relacionados con la actividad científica de elaboración de modelos (Oliva, 2004; Oliva y Aragón, en prensa). De ahí nuestro interés por situar las analogías como recuso clave en el aprendizaje del

cambio químico y los procesos de construcción de modelos, como tuvimos ocasión de fundamentar y mostrar en un estudio anterior (Oliva y Aragón; 2009). Y de ahí también nuestro interés por investigar en qué medida las analogías permiten desarrollar en los estudiantes las competencias relacionadas con los procesos de modelización en este terreno, lo cual será objeto de futuros estudios.

Por lo que se refiere a este trabajo, centraremos nuestra atención en la justificación e implementación de una propuesta didáctica en torno al cambio químico para alumnos de secundaria (9º grado) que utilice las analogías como eje vertebrador. Se trata de analizar en este escenario las situaciones de aprendizaje y los procesos implicados en la elaboración de modelos promovidos en los alumnos que participan en ella.

Justificación y planificación de la propuesta

La propuesta didáctica se estructuró teniendo en cuenta las finalidades de la educación científica previstas por Hodson (1992), quien contempla la necesidad de dirigir la enseñanza para que los alumnos “aprendan ciencias”, “aprendan a hacer ciencias” y “aprendan acerca de las ciencias”. Ello traducido a un enfoque de enseñanza basada en modelos, sugiere la importancia de conseguir que los alumnos aprendan los modelos de la ciencia escolar, aprendan a construir modelos y aprendan acerca de los modelos, (Justi y Gilbert, 2002, 2006; Justi, 2006).

La unidad desarrollada iba dirigida a estudiantes españoles de tercer curso de Educación Secundaria Obligatoria (9º grado), que ya habían abordado previamente el estudio del cambio químico durante el curso anterior desde un punto de vista fenomenológico, fundamentalmente mediante trabajos prácticos. En aquella ocasión se trató con los alumnos la diferenciación entre fenómenos físicos y fenómenos químicos, analizando los cambios en las propiedades del sistema. Los alumnos trabajaron también entonces el modelo cinético molecular de la ma-

teria, que aplicaron para interpretar fenómenos físicos y para realizar predicciones sobre los mismos, aunque no podemos afirmar que todos los alumnos consiguieran este objetivo.

La tabla 1 ofrece una síntesis de las ideas centrales desarrolladas en torno al modelo de mate-

ria y de cambio químico en la propuesta didáctica que ahora presentamos, y la tabla 2 recoge los aprendizajes esperados en torno al trabajo con modelos y a sus procesos de (re)construcción, así como aquellos otros referidos a la comprensión sobre la naturaleza de los modelos.

Cambio químico	En las transformaciones químicas, desde una escala macroscópica, las sustancias cambian; hay sustancias que desaparecen mientras otras aparecen, lo que se puede verificar a través del análisis de las propiedades características de las sustancias. Este cambio se interpreta a escala submicroscópica como una ruptura de las moléculas de los reactivos cuyos átomos se unen de forma diferente originando nuevas moléculas.
Modelo atómico de Dalton modificado	Las moléculas están formadas por partículas más pequeñas denominadas átomos. En la naturaleza existe aproximadamente un centenar de átomos diferentes denominados elementos. Este modelo explica la composición y el comportamiento de las sustancias elementales y de las sustancias compuestas, así como el cambio químico al nivel expuesto anteriormente.
Sustancia elemental	Las sustancias elementales, que no pueden descomponerse, están formadas por un solo elemento.
Sustancia compuesta	Las sustancias compuestas, o compuestos, que pueden descomponerse, están formadas por más de un elemento.
Fórmula química y ecuación química	La fórmula química de un compuesto indica la proporción en la que se combinan los átomos al formar el compuesto, o el número de átomos de cada tipo que forman una molécula. En una ecuación química se indica la proporción en la que se combinan y se forman las moléculas de productos y reactivos.
Modelo de las colisiones	Para que una reacción se produzca las partículas que forman los reactivos deben chocar eficazmente entre sí, para lo cual deben hacerlo con la energía y orientación necesarias.
Ley de conservación de la masa	En una reacción química la masa de los reactivos es la misma que la masa de los productos, lo que se interpreta como la constancia en el número de átomos totales.

Tabla 1. Contenidos y niveles de conceptualización de referencia de la propuesta didáctica.

Trabajar con modelos y (re)construir modelos	Naturaleza de los modelos
<ul style="list-style-type: none"> • Establecer relaciones entre ideas o conceptos para la formulación de modelos o marcos globales interpretativos. • Formular y expresar modelos sobre fenómenos de la naturaleza, así como plantearse problemas e interrogantes haciendo uso de esos modelos. • Usar los modelos construidos para explicar fenómenos próximos a situaciones de la vida diaria. • Utilizar los modelos desarrollados para hacer predicciones sobre fenómenos y situaciones del mundo real. • Diseñar y conducir experimentos mentales y reales para contrastar la validez de los modelos de que se dispone. • Evaluar, de forma crítica, datos a favor y en contra de los modelos considerados. • Participar en la toma de decisiones sobre la formulación de nuevas ideas que, a la larga, puedan propiciar la evolución de los modelos asumidos. • Utilizar una cierta variedad de modelos complementarios para comprender una misma realidad, aunque desde diversas perspectivas. • Practicar el trabajo grupal y colaborativo en los procesos de elaboración de modelos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estimar la utilidad de los modelos como instrumentos racionales e imaginativos para comprender el mundo. • Reconocer el carácter aproximativo y limitado de los modelos, como alternativa al de copias exactas de la realidad. • Appreciar la necesidad de disponer de múltiples modelos explicativos en la ciencia que permitan comprender la realidad de forma complementaria desde diversos puntos de vista. • Percibir el carácter provisional y evolutivo de los modelos científicos y mantener apertura de mente ante la posibilidad de cambios en los modelos científicos vigentes. • Valorar la importancia de los modelos científicos en nuestro estado de saber actual, y en sus implicaciones y repercusiones sobre el mundo y en nuestra capacidad de actuar sobre él.

Tabla 2. Aprendizajes esperados en cuanto a “hacer ciencias” y “acerca de las ciencias” en el trabajo con modelos.

La metodología empleada intentaba situar al alumno en un entorno participativo que fomentase su implicación en el proceso de aprendizaje, en general, y en los procesos de modelaje, en particular. Dicha participación estuvo canalizada a través del trabajo colectivo en pequeño y gran grupo, favoreciendo el debate en torno a los modelos mentales que se iban generando.

La trama de actividades desarrollada siguió el marco propuesto por Justi y Gilbert para la tarea de elaboración de modelos (Justi y Gilbert, 2002; Justi, 2006) (Figura 1). En ella las analogías suponían una herramienta útil como hilo conductor del tema, para un primer acercamiento a la representación submicroscópica de la materia, la cual es abstracta y en principio poco accesible a los alumnos. Asimismo, las actividades analógicas se utilizaron para estable-

cer 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 la fase inicial del proceso de construcción de modelos para favorecer la evolución de los modelos mentales en los alumnos, en la fase de representación del modelo y en la de verificación. Las actividades de carácter analógico se diseñaron teniendo en cuenta los criterios recogidos por Oliva et al. (2001, 2003). En la figura 2 se aporta un esquema con los modelos explicativos trabajados sobre el cambio químico y los correspondientes modelos analógicos empleados. Así mismo, las correspondencias recogidas en la tabla 4 pueden clarificar las relaciones que se esperan establecer entre el objeto a modelar, el cambio químico a escala submicroscópica, y el análogo usado en cada caso.

Metodología para la recogida de información

Se trata de un estudio cualitativo de corte descriptivo, a modo de crónica de acontecimientos desarrollados en un contexto natural de aula durante el proceso de intervención seguido a lo largo de la propuesta didáctica ensayada. El trabajo se sitúa dentro de los denominados estudios de caso, adoptándose el grupo clase en su conjunto como lugar sobre el que se sitúa el foco de atención de los análisis realizados.

La muestra objeto de este estudio estuvo formada por un grupo-clase, de quince alumnos, formado por 11 chicas y 4 chicos, de 3º de Educación Secundaria Obligatoria nivel socioeconómico medio, provenientes de un centro público de Cádiz capital. Este grupo desarrolló la propuesta didáctica con una profesora que adoptó el rol de observadora participante, además de investigadora y primera autora de este trabajo. Se trataba con ello de que la investigación tuviese un máximo de implicación en la práctica real del aula, actuando éste como escenario natural en el que el docente investiga a la vez que interviene.

Antes de comenzar la unidad didáctica, los alumnos fueron informados de que el desarrollo de la misma iba a ser objeto de una investigación y que sus producciones orales y escritas serían una de las fuentes de información más importantes de este trabajo. Los estudiantes mostraron su acuerdo, sintiéndose protagonis-

tas por este hecho. Las clases tuvieron lugar en el laboratorio de química, en el que los alumnos se distribuyeron en grupos de cuatro. Concretamente, se formaron tres grupos de cuatro alumnos y un grupo de tres. Los alumnos ya habían trabajado de esta manera durante las unidades didácticas precedentes.

La unidad se desarrolló en dieciséis sesiones de una hora de duración, en el período comprendido entre el 8 de noviembre de 2006 y el 4 de diciembre de 2006 (ver la figura 1 en la página siguiente).

Al objeto de realizar un seguimiento del proceso de enseñanza-aprendizaje desarrollado, se ha recurrido a una amplia variedad de técnicas e instrumentos de recogida de información. Entre ellas, y a efectos del presente trabajo, recurriremos a los datos procedentes de dos de ellos:

a) 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. En él se incluyen todas las actividades realizadas por los alumnos, tanto aquellas realizadas individualmente o en grupo, como las que se refieren a pruebas iniciales, finales o exámenes.

b) El diario del profesor investigador, como instrumento en el que éste recoge periódicamente sus observaciones en el aula, así como sus impresiones y valoraciones sobre todo el proceso (ver la figura 2 en la página 69).

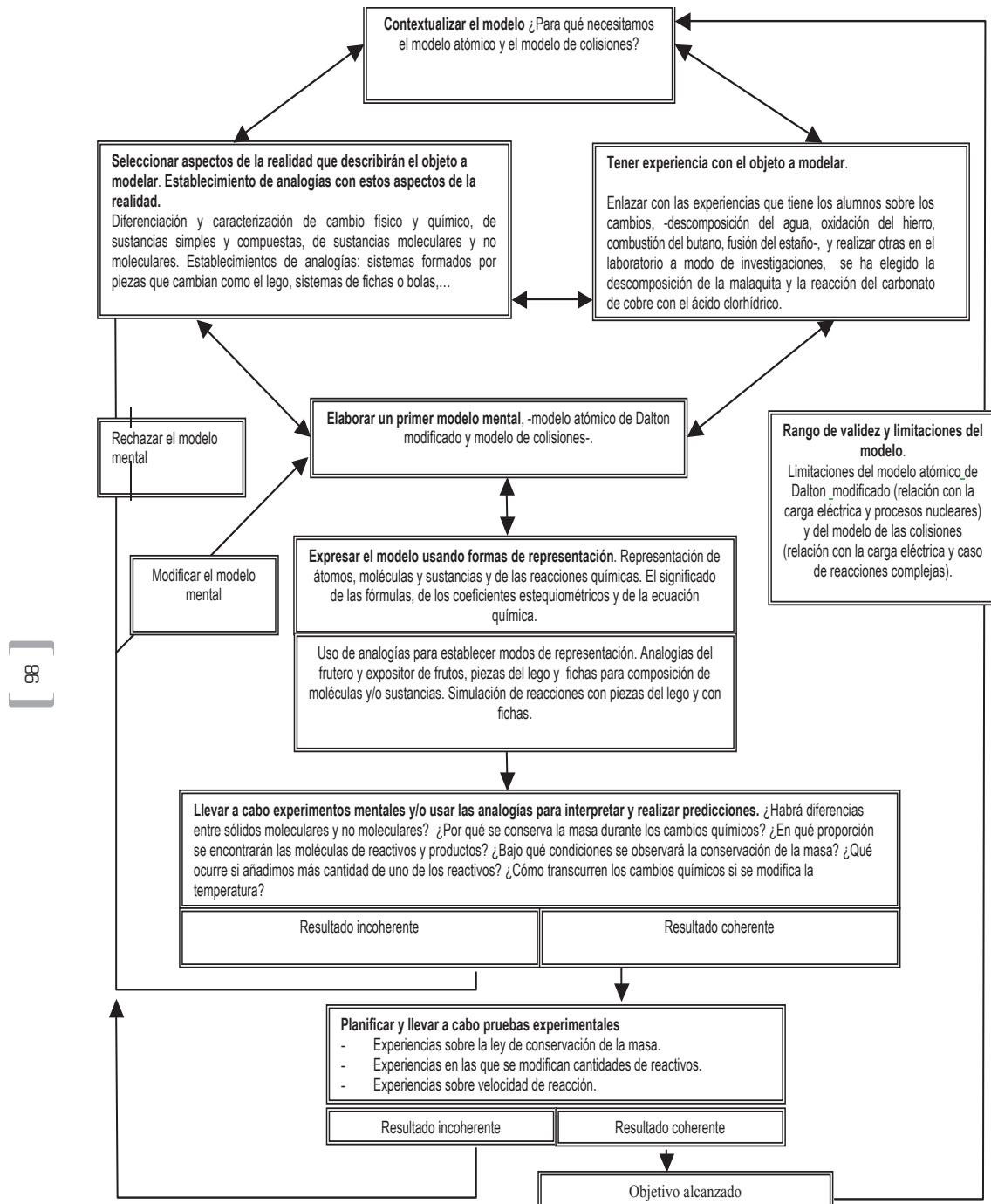


Figura 1. Esquema de la propuesta didáctica desarrollada (Justi y Gilbert, 2002).

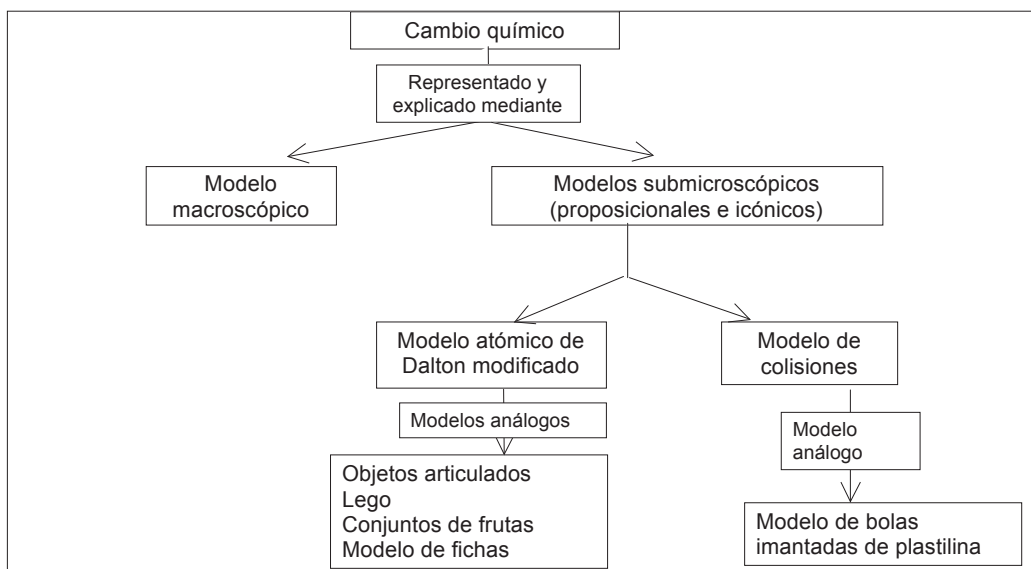


Figura 2. Modelos trabajados y analogías usadas.

Resultados y discusión

Con el objetivo de facilitar el seguimiento de la crónica de la implementación de la unidad, en la tabla 3 se ofrece un resumen de los contenidos más significativos abordados en las sesiones. La secuencia de contenidos no es lineal, sino cíclica, y responde al esquema descrito en la figura 1.

Durante las dos primeras sesiones se pretendía iniciar la primera etapa del proceso de elaboración de modelos. Además de plantear la finalidad de la unidad, se puso a los alumnos en situación de recordar experiencias ya conocidas sobre el cambio químico, desarrollando otras no conocidas hasta entonces: combustiones, descomposición del agua, de la glucosa, fusión de metales... El siguiente fragmento ilustra el tipo de preguntas plantadas por la profesora al objeto de demarcar el objeto a modelar, activar los modelos mentales previos de los que disponían los alumnos, y caracterizar un primer esquema de pensamiento a nivel macroscópico sobre la diferenciación y caracterización de cambio físico y químico, y la de sustancias elementales y compuestas.

P. – ¿Recordáis algún cambio químico de los que trabajamos el curso pasado?

Luis – Este que está en el dibujo de la fotocopia. Había agua en un “cacharro”, pasaba electricidad y salían unas burbujitas.

Virginia – Se formaba hidrógeno y oxígeno.

P. – ¿Cómo lo sabes?

Virginia – Porque el hidrógeno explotaba, bueno hacía “pum” flojito.

P. – ¿Y el oxígeno?

Virginia – De eso no me acuerdo.

Espero una respuesta pero hay silencio y continúo.

– El oxígeno aviva la llama.

Lola – Sí, si, es verdad, había un palito que se metía y salía una llama.

P. – ¿Recordáis otros cambios?

Pilar – Lo que está aquí pintado (señala la fotocopia) era el azúcar que se quemaba.

Inma – Si, olía a caramelo, pero después olía mal y salía humo.

P. – ¿Qué obteníamos al final?

Inma – Carbón, pero no era carbón dulce.

P. – ¿Y algo más?

Silencio

P.– ¿Qué sustancia se desprendía con el humo?

Ana – Ah, era agua, se ponía un trozo de cristal que se mojaba. (Diario del profesor)

Dado que los alumnos habían estudiado el cambio químico durante el curso anterior des-

Sesión	Contenido	Sesión	Contenido
1	Planteamiento de la finalidad de la unidad. Evocación de experiencias conocidas sobre el cambio químico.	9	Profundización en el modelo submicroscópico –modelo de colisiones–, mediante una actividad analógica.
2	Realización de nuevas experiencias sobre el cambio químico. Reelaboración de un modelo macroscópico del cambio químico.	10, 11	Aplicación de los modelos en la interpretación de cambios. Identificación de limitaciones de los modelos.
3	Introducción a un modelo submicroscópico del cambio químico mediante el establecimiento de analogías. Establecimiento de un modelo atómico (modelo de Dalton con modificaciones). Iniciación de las representaciones simbólicas.	12, 13	Actividades de evaluación de los alumnos y del proceso seguido hasta este momento.
4	Profundización en el modelo submicroscópico del cambio químico. Uso de analogías para establecer modelos de representación.	14	Aplicación de los modelos para realizar predicciones y llevar a cabo experimentos mentales sobre la problemática de la conservación de la masa.
5 y 6	Representación de diferentes sistema materiales haciendo uso de los modelos simbólicos establecidos, sustancias elementales y compuestas, sustancias atómicas y moleculares, sustancias en diferentes estados.	15	Diseño y realización de una actividad experimental como proceso de verificación de los modelos.
7 y 8	Representación del cambio químico mediante los modelos simbólicos establecidos. Relación entre los modelos simbólicos y el modelo submicroscópico.	16	Aplicación de los modelos para realizar predicciones sobre la velocidad de reacción. Verificación de modelos. Actividad de síntesis. Rango de validez y limitaciones de los modelos sobre el cambio químico.

Tabla 3. Distribución de contenido en las diferentes sesiones que integraron la unidad.

de el punto de vista fenomenológico, era de esperar que hubiesen desarrollado ya un modelo macroscópico del cambio químico al nivel en el que se señala en la tabla 1; tal y como se aprecia en el siguiente ejemplo.

En esta experiencia al calentar la mezcla, el hierro reacciona con el azufre formando una sustancia nueva que no se atrae por ningún imán” (portafolio Roberto).

No obstante, tal como indicaron los resultados de las actividades realizadas al comenzar la unidad, los alumnos no solían usar espontáneamente este modelo, mostrando concepciones alternativas. Así se aprecia en la siguiente interpretación de un cambio químico, considerado como una mezcla en la que se modifican las propiedades de las sustancias.

“En la segunda se ha formado una mezcla homogénea (disolución) por lo que se pierden sus propiedades” (portafolio Virginia).

Del mismo modo algunos consideran la oxidación del hierro como una mezcla del hierro con agua o con oxígeno y la combustión de la vela como un cambio de estado.

“La lámina de hierro se ha oxidado ya que se ha mezclado con el oxígeno que había en el taller y por lo tanto pesa más” (portafolio Roberto).

“Porque la vela aunque se haya consumido sigue ahí, más pequeña, en forma de gas, pero al estar cerrado no puede salir el gas de lo consumido” (portafolio Antonio).

Por ello fue necesario reorganizar sus ideas antes de seguir avanzando. Una actividad analógica sirvió en este sentido para caracterizar los procesos de identificación de sustancias a partir de sus propiedades características, de un modo semejante a cómo un detective puede identificar al sospechoso de un crimen a través de sus rasgos personales, por ejemplo, a través de sus huellas dactilares. Dicha caracterización permitió posteriormente entender el cambio químico como proceso en el que cambian las sustancias, lo que puede verificarse analizando las propiedades características de las mismas (figura 3).

Asimismo, y con objeto de dotar de mayor solidez al modelo macroscópico del cambio químico, se desarrollaron nuevas experiencias

sobre el cambio químico, como la descomposición térmica de la malaquita o la reacción entre la malaquita y el ácido clorhídrico. Se trataba de que los alumnos identificasen argumentadamente si dichas experiencias respondían a fenómenos físicos o químicos. La elección de la malaquita resulta especialmente interesante por varios motivos: 1. la temperatura de descomposición se alcanza fácilmente con una placa eléctrica, lo que evita el uso del mechero que supone un mayor riesgo; 2. los productos de la descomposición son dióxido de carbono, que se desprende, y óxido de cobre (II), de color negro, lo que permite discusiones convenientes respecto a si se ha producido un cambio químico o no (los alumnos asocian la aparición de una sustancia negra al hecho de que algo se queme sin que esto implique necesariamente un cambio químico); 3. la malaquita y el cloruro de cobre que se forma tras la reacción presentan propiedades características fácilmente identificables por observación directa; 4. en la reacción de la malaquita con el ácido clorhídrico la aparición de burbujas es una prueba de la formación de un gas y, por último, 5., no es un reactivo caro.

En la tercera sesión se inició el proceso de elaboración de un modelo submicroscópico para el cambio químico y el establecimiento y desarrollo de sistemas de representación, tanto de tipo proposicional como icónico¹. Es decir, se continuó con la primera fase del proceso de

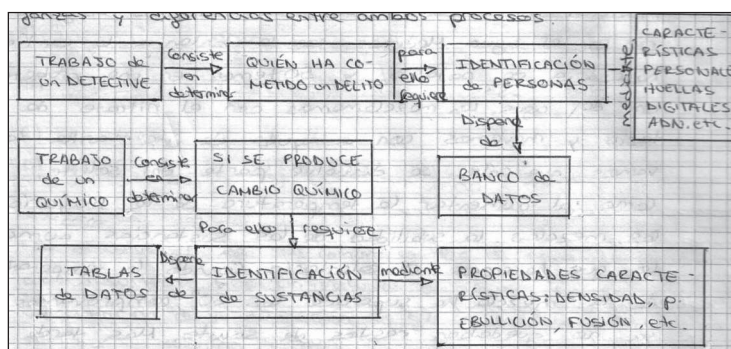


Figura 3. Identificación de sustancias y trabajo de un detective (Portafolio, Virginia).

¹ En este caso, las representaciones icónicas recurrían a dibujos de círculos y puntos, que representaban átomos y combinaciones de ellos.

elaboración de modelos y se inició la segunda. Previamente se volvió a plantear la necesidad de elaborar un modelo para explicar el cambio químico, puesto que el modelo interpretativo de la materia que manejaban hasta entonces, el modelo cinético molecular, no era capaz de justificar los cambios que implican transformación de las moléculas.

Dado que las ideas que se pretenden desarrollar son abstractas y poco accesibles para los alumnos, pareció apropiado hacer uso de analogías que evocasen un modelo submicroscópico del cambio químico. Con tal fin la profesora planteó a los estudiantes que propusiesen situaciones análogas a la situación objeto de estudio, en concreto, objetos que pudiesen transformarse en otros, del mismo modo que las moléculas de los reactivos se transforman en otras moléculas en el cambio químico. Algunos alumnos, guiados por las preguntas hechas por la profesora, fueron capaces de proponer analogías y transferir conocimientos desde el análogo al objeto de estudio:

102

“Les pido que piensen en objetos que se transforman, que cambian de aspecto o incluso de utilidad sin sufrir un cambio químico. Virginia pone el caso de la transformación de un árbol en una mesa. Le pido que explique qué debe hacerse para que la transformación ocurra y dice que es preciso cortar el tronco en trozos y después unirlos. Inma recuerda una noticia que ha visto en el telediario del día anterior, un sujetador que se transforma en bolsa de la compra y que tiene por finalidad ahorrar bolsas de plástico... Inma explica cómo se transformaba y cuenta que el sujetador se desmonta, se despliega y que los tirantes hacen de asas. Pido otros casos de transformaciones, citan un sofá cama, los cochecitos de los bebés, las cunas que se convierten en camas y los sillones del tren cama. A continuación deben buscar qué tienen en común todos estos objetos que se transforman. No tardaron en decir que en todos los casos los objetos están formados por piezas que se pueden unir de diferente forma. Les pido que trasladen esta idea al caso de las reacciones, realizando en grupo la actividad... La puesta en común de la actividad me indica que han asimilado bien la idea de la divisibilidad de las moléculas” (diario del profesor).

El análogo de este símil -un objeto que se transforma- y la característica significativa del mismo -estar articulado, formado por partes

más pequeñas-, son puestos de manifiesto por la profesora. A raíz de ello, se pidió a los alumnos que escribiesen las conclusiones a las que habían llegado para que comenzasen a desarrollar un sistema de representación proposicional del modelo mental que se iba generando:

“Cambian las sustancias porque las moléculas están formadas por piezas. Ej: reactivos (moléculas) productos (moléculas diferentes)” (portafolio, Inma).

A partir de este momento se emplearon varios sistemas análogos, que podían cambiar de estructura al reorganizar las unidades que lo formaban por tener una configuración articulada por piezas. Éste fue el caso del conocido juego de construcciones del lego, como también el de un sistema de fichas o bolas que se fabricaron ad hoc. En el caso del juego del lego, tras reflexionar sobre las semejanzas y diferencias entre el objeto y el análogo, los alumnos debían caracterizar los átomos como partículas invariantes en los cambios químicos, que se conservan aun cuando cambien la naturaleza de las moléculas de las que forman parte. Las semejanzas entre las piezas del lego y los átomos se indicaban a priori, los alumnos sólo debían reconocerlas, si bien, en cambio las diferencias debían ser establecidas por ellos mismos. Esta fase del proceso analógico es importante ya que, en este caso, debía contribuir a que los alumnos no trasladasen propiedades macroscópicas a las partículas subatómicas. A modo de ejemplo mostramos la comparación encontrada en el portafolio de Ana:

“Los legos son indivisibles, tienen distinta forma y color y forman diferentes figuras que se pueden montar y desmontar. Los átomos permiten formar nuevas sustancias, se diferencian por su masa y tamaño y no son divisibles” (Portafolio, Inma).

Como puede verse, uno de los temas que surgió fue el de la divisibilidad o no de los átomos. Se intentó dejar claro que, si bien éstos sí pueden dividirse, en un cambio químico su naturaleza no llega a verse alterada. Con ello se establecía una primera limitación para el modelo atómico que hasta aquí habían manejado, consistente, como ya hemos indicado, en una

adaptación del modelo atómico de Dalton. En la tabla 4 se muestran las relaciones de semejanza y diferencia que se espera que los alum-

nos establezcan a lo largo del desarrollo de la unidad, entre el modelo submicroscópico del cambio químico y el modelo análogo del lego.

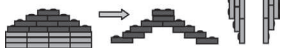
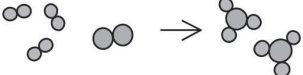
	Modelo análogo: Lego 	Objeto a modelar: Átomos y cambio químico 
Semejanzas	Las figuras están formadas por piezas de lego unidas de distinta forma.	Las moléculas están formadas por partículas más pequeñas a las que llamamos átomos.
	Con pocos tipos de piezas se puede formar una gran cantidad de figuras diferentes.	En la naturaleza existe un centenar de átomos diferentes que pueden formar millones de moléculas diferentes.
	Podemos deshacer una figura y unir las piezas del lego de forma diferente generando figuras distintas.	En un cambio químico, las moléculas de los reactivos se rompen y los átomos que las constituyen se unen de manera diferente formando moléculas distintas, las propias de los productos.
Diferencias y limitaciones	Las piezas del lego son indivisibles.	Aunque en el modelo de Dalton modificado se suponen los átomos como indivisibles, los modelos posteriores consideran los átomos como partículas divisibles.
	Las piezas del lego tienen propiedades observables	Las propiedades de los átomos no son observables.
	Podemos unir cualquier tipo de pieza del lego y en cualquier dirección.	No todos los átomos se unen entre sí y cuando lo hacen formando moléculas los enlaces son dirigidos.
	Unimos las piezas del lego según nuestra voluntad.	En un cambio químico las nuevas uniones entre los átomos dependen de las interacciones entre los mismos, desprendiéndose o necesitando energía en las nuevas interacciones.
	El proceso de formación de piezas es siempre reversible.	Los cambios químicos pueden ser reversibles o irreversibles.
	El número de figuras formadas en el juego del lego es pequeño.	El número de moléculas rotas y formadas en un cambio químico es enorme.

Tabla 4. Relaciones de semejanza y diferencia entre el objeto a modelar y el modelo análogo del lego

Seguidamente tuvo lugar un proceso de síntesis de las ideas que se habían ido desarrollando presentado un modelo atómico que se corresponde con el modelo de Dalton modificado, a la vez que se trataron aspectos rela-

cionados con la construcción del pensamiento científico. Al mismo tiempo que se presentaba el modelo se intentó clarificar algunas de las dudas e interrogantes que iban surgiendo en los alumnos:

“Señalaron que no entendían qué era un elemento, que si era lo mismo que un átomo. Les mostré 5 piezas del lego, de tres tipos diferentes y les dije que siguiendo la comparación anterior, me dijeran a cuántos elementos corresponderían si las piezas fuesen átomos. Contestaron sin dificultad que a tres.” (Diario del profesor).

Antes de finalizar la sesión se introdujo el problema histórico de la representación de los elementos, cuestión que se utilizó en las siguientes sesiones para tomar decisiones con respecto a la representación que se emplearía en el aula.

Durante la cuarta, quinta y sexta sesión se pusieron a prueba las ideas formuladas en el modelo atómico —las moléculas están formadas por partículas más pequeñas denominadas átomos—, interpretando a partir del mismo el diferente comportamiento de las sustancias elementales y de las sustancias compuestas, —las sustancias elementales no pueden descomponerse formando dos sustancias diferentes porque sólo están formadas por un tipo de átomo—. Además, se pretendía desarrollar sistemas de representación icónicos, tanto modales como amodales², para representar moléculas y sustancias. En ambos casos se hizo uso de actividades analógicas. En este punto, de nuevo, el juego del lego sirvió de análogo para representar la composición de las sustancias, empleándose en esta ocasión como soporte para explicar por

qué los compuestos químicos se descomponen mientras no lo hacen las sustancias elementales. En concreto los alumnos construyeron con las piezas del lego columnas que se podían descomponer o no en otras diferentes, figura 4, y, a partir de las conclusiones, fueron capaces de inferir que las sustancias elementales están formadas por un tipo de átomo y los compuestos químicos por más de un tipo de átomo.

“Utilizando las piezas de lego, construid dos columnas, una que se pueda descomponer en dos diferentes y otra que no se pueda descomponer en dos distintas. Dejo unos minutos y después pido que vayan explicando lo que han hecho. Todos los grupos construyen una columna con todas las piezas iguales y otra con piezas diferentes. La explicación que dan en todos los casos es correcta. Pido que, por grupos, den una explicación al comportamiento de sustancias simples y compuestas en función de su composición. No se dan tiempo para escribir la respuesta, inmediatamente varios alumnos levantan la mano y otros comienzan a responder, oigo a varios que dicen que las sustancias simples tienen un solo tipo de átomo y las compuestas más de un tipo. Pido que me digan cómo llegan a esta conclusión. Tampoco dan tiempo para dar una respuesta por grupos y Elena dice que es como en el lego, que cada tipo de pieza es como un tipo de átomo” (Diario del profesor).

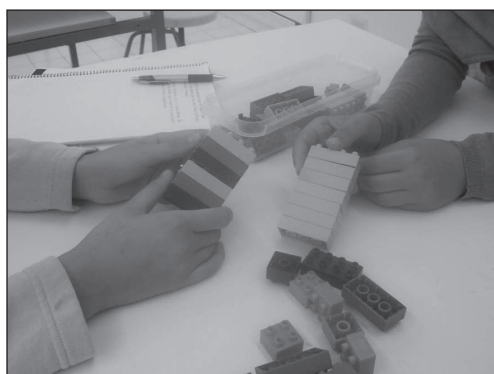


Figura 4. Detalles de alumnos trabajando con el juego del lego.

² En los sistemas modales la representación es pictórica mediante elementos gráficos que guardan una cierta similitud con el objeto representado, como ocurre cuando se representan los átomos mediante circulitos o esferas. En los sistemas amodales la representación se efectúa mediante iconos simbólicos, como ocurre cuando se recurre a los símbolos de los elementos.

El problema que se planteó a continuación fue el de la representación simbólica de las sustancias, aspecto que se abordó a través de una nueva analogía en la que los átomos se evocaban a través de frutas, mientras que las moléculas se representaban mediante fruteros. Junto a ello, se pidió a los alumnos que ideasen formas de representación simbólica del conjunto de frutas de un frutero. Como era de esperar, plan-

tearon varios sistemas, lo que les obligó a acordar posteriormente cuál sería el que emplearían como instrumento de comunicación entre los miembros del grupo. La figura 5 muestra las representaciones formuladas por dos alumnas que trabajaron en grupos diferentes, apreciándose diferencias tanto en los símbolos elegidos para las frutas como en el modo de representar los conjuntos de frutas.

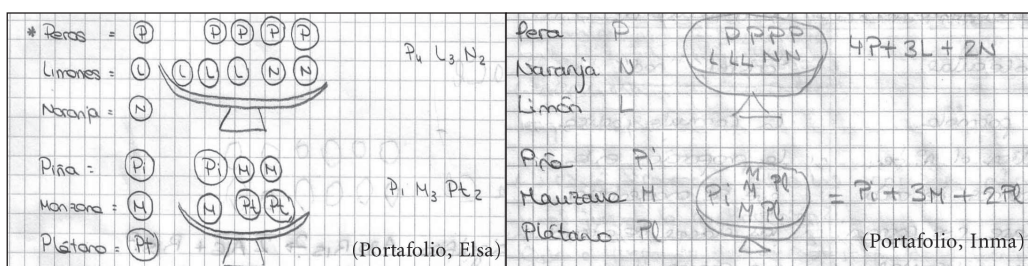


Figura 5. Representaciones simbólicas de dos alumnas para frutas y fruteros.

Esta actividad, sirvió además para trabajar otros aspectos, como la arbitrariedad de los símbolos, la necesidad de acuerdo para hacer posible la comunicación y la toma de decisiones. Estas cuestiones se reflejan en el diario del profesor observador:

“La forma de razonar de los diferentes grupos es muy diferente. Sólo los componentes de un grupo establecen una forma de expresar los contenidos de los diferentes fruteros similar a la que representa la fórmula química. Entre las propuestas de los diferentes alumnos:

$$4P + 2N + 3L$$

$$4P, 2N, 3L$$

$$P_4N_2L_3$$

Tras una discusión provocada por la profesora, sobre la necesidad de unificar criterios en la que interviene bastantes alumnos se acepta como mejor la representación última de las citadas que, por cierto sólo la estableció uno de los grupos” (Diario de la profesora observadora).

Todo esto pudo ser referido al trabajo de los científicos a lo largo de la historia, de modo que se pudiese comprender mejor la naturaleza de las ciencias. De hecho, los problemas de representación que se encontraron los alumnos

guardan cierta similitud con los problemas históricos encontrados en la gestación de las normas de formulación.

Posteriormente, también por grupos, se pidió que comparasen el sistema de frutas con el de moléculas, estableciendo las semejanzas y los límites de la analogía, para después trasladar el sistema de representación seleccionado para los fruteros al caso de las moléculas.

“Hay un número concreto de frutas en cada frutero y hay un número concreto de átomos en cada molécula”.

“Las frutas representan los átomos” (Portafolio, Inma).

“El grupo de frutas tiene sus frutas separadas entre sí, pero todos los átomos están unidos” (Portafolio, Elena).

A partir de aquí se procuró que los alumnos relacionasen adecuadamente los sistemas de representación icónicos modales y no modales, pasando de unas representaciones a otras, asignando un significado correcto a las fórmulas químicas. Para iniciarse en las representaciones icónicas modales, los alumnos disponían de piezas de lego y de fichas de plástico

de diferentes colores que podían manipular para componer con facilidad moléculas diferentes (Figura 6). Al realizar las representaciones espaciales de las moléculas usando estos sistemas, los alumnos realizaron numerosas preguntas sobre la disposición geométrica de los átomos. Se les indicó que en efecto las mo-

léculas presentan una determinada geometría pero que el modelo empleado no permitía su predicción, siendo por tanto una limitación del mismo. No obstante, se les informaba de la geometría real de la molécula, indicándoles que se admitían por el momento otras disposiciones espaciales.

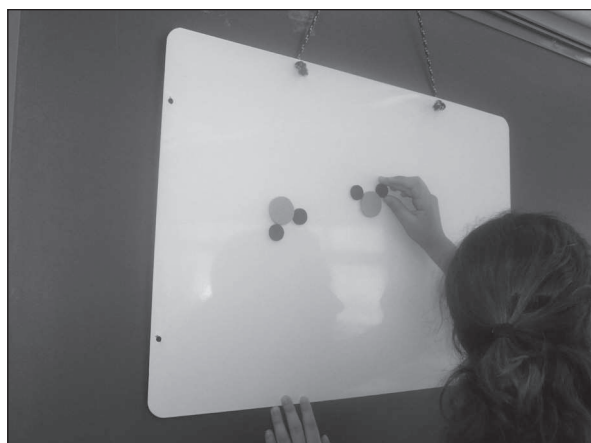


Figura 6. Uso de fichas magnéticas como análogos de átomos.

106

También se ensambló un juego de estas fichas sobre cintas magnéticas recortadas al objeto de que pudiesen desplegarse sobre una pizarra magnética vertical y facilitar así la puesta en común de las conclusiones a las que llegasen los grupos de alumnos. Estos modelos mecánicos pueden ser considerados como sistemas análogos a los sistemas submicroscópicos. Así fueron considerados durante el desarrollo de las actividades, poniendo siempre de manifiesto las semejanzas y diferencias con el objeto de estudio. Si bien las representaciones con piezas de lego se alejan de las representaciones convencionales, tienen como ventaja que las piezas se pueden ensamblar. Tanto las representaciones de moléculas con fichas como las representaciones con piezas del lego resultaron muy motivadoras para todos los alumnos, que consideraban estas actividades como un juego. Puede que la causa de la motivación sea que la manipulación de las fichas y piezas es sencilla, pudiendo cambiarlas de posición y perdiendo el temor a cometer equivocaciones.

“Elena comenta que por fin van a poder jugar con el lego, que después de hablar de él ya tenía ganas de cogerlo” (diario del profesor).

“Desde que terminamos el tema echamos de menos los átomos y las moléculas, lo de las fichas era divertido” (entrevista, Lola).

Para introducir la diferente forma de unirse los átomos en los compuestos moleculares y en los no moleculares, se utilizó de nuevo la analogía de las frutas, presentando un expositor de frutas en lugar de un conjunto de fruteros. De las intervenciones de los alumnos se hizo evidente que no todos comprendían la diferencia entre los compuestos moleculares y no moleculares, poniéndose también en cuestión las diferencias entre estos últimos y las mezclas:

“Les entrego una bolsa con fichas de colores para que hagan antes la representación por grupos. Veo que representan y dibujan las estructuras sin problemas. Pero Ana dice que no entiende por qué los átomos de Na y Cl no están unidos de dos en dos y Carolina pregunta que no ve la diferencia entre el NaCl y una mezcla de sustancias simples” (diario del profesor).

Para aclarar este punto se llevó a cabo una actividad en la que los propios estudiantes actuaban como átomos escenificando situaciones en las que éstos se organizan de diferente forma, unas veces por grupos que representaban moléculas aisladas, y otras veces a escala colectiva del gran grupo que representaban estructuras reticulares. Después se hizo la comparación con las estructuras de las sustancias, estableciendo semejanzas y las limitaciones de la analogía.

A lo largo de la séptima y octava sesión se trabajó en torno a la representación icónica, modal y no modal, de los cambios químicos. Es decir, se representó el cambio químico mediante dibujos con esferitas que simbolizaban los átomos, o mediante ecuaciones químicas. Antes de ello se realizó una actividad consistente en predecir la evolución de un sistema formado por un trozo de lana de hierro introducido en tubo que se encontraba bocabajo sobre un recipiente con agua. La actividad concluiría con la verificación de la predicción unos días más tarde ya que el proceso de oxidación es lento. Acto seguido se instó a que lo interpretasen usando el modelo atómico, primero, y posteriormente a través del lenguaje químico de símbolos. Para facilitar el uso de los sistemas de representación y la correcta asignación de significados a los símbolos, se emplearon de nuevo los sistemas análogos usados anteriormente, concretamente el juego del lego y el modelo de discos de colores. A partir de la analogía, se trataba de que los alumnos conceptualizasen el cambio químico como fenómeno en el que las moléculas iniciales se rompen, reestructurándose las uniones entre átomos y formándose otras nuevas que dan lugar a otras moléculas que conforman las sustancias finales:

“Continúo diciendo que en un juego de construcción se reorganizan las piezas para formar distintas figuras y pido que hagan la analogía con las reacciones químicas, Lola dice que los átomos que forman las moléculas se separan y se unen de otra forma para dar moléculas diferentes” (diario del profesor).

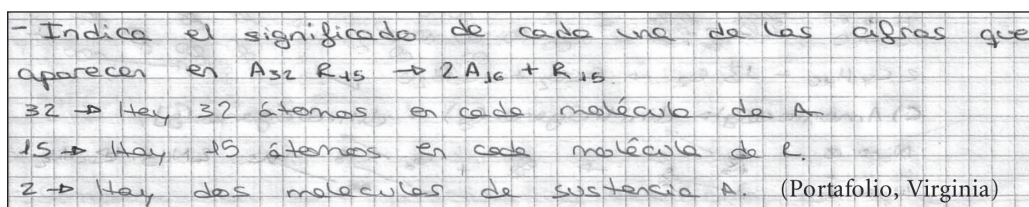
El establecimiento de las diferencias por parte de los alumnos sirvió para profundizar en la naturaleza del cambio químico.

“En las reacciones químicas puede haber millones y millones de átomos y de moléculas y en los juegos un número muy reducido. En un juego de construcción se puede juntar y separar fácilmente y con los átomos es más complicado. En un juego podemos volver a la primera figura, en los cambios químicos en la mayoría no” (portafolio, Begoña).

Una vez representado el cambio de forma proposicional según el modelo submicroscópico, trasladaron el sistema icónico de representación usado con las piezas del lego al caso del cambio químico. En el material proporcionado a los alumnos se simbolizaba un proceso en el que unas figuras construidas con el lego se transforman en otras y los estudiantes debían asignar un significado a las cifras utilizadas en la representación.

“El subíndice significa el número de piezas. El número que hay delante significa el número de figuras” (portafolio Inma).

En uno de los grupos, al interpretar las cifras que representaban el cambio en el análogo, manejaban ya los términos correspondientes al objeto (Figura 7). Ello, a nuestro modo de ver, constituye un indicador de éxito en el proceso de transferencia analógica pre-tendido.



- Indica el significado de cada una de las cifras que aparecen en $A_{32} R_{15} \rightarrow 2A_{16} + R_{15}$.
 $32 \rightarrow$ Hay 32 átomos en cada molécula de A.
 $15 \rightarrow$ Hay 15 átomos en cada molécula de R.
 $2 \rightarrow$ Hay dos moléculas de sustancia A. (Portafolio, Virginia)

Figura 7. Interpretación de una alumna del significado de los coeficientes estequiométricos.

Tras presentar como ejemplo la representación de la electrólisis del agua, al finalizar la actividad, y a través de un diálogo dirigido por la profesora, los alumnos debían concluir que, en las ecuaciones químicas, los coeficientes estequiométricos indican la proporción en la que intervienen las moléculas de reactivos y productos. Es una idea a la que no todos llegaron ya que, al implicar el concepto de proporcionalidad, los alumnos mayoritariamente interpretaron los coeficientes en términos absolutos.

“En la puesta en común, en todos los grupos dicen que el coeficiente indica el número de moléculas y el subíndice el número de átomos de cada tipo que hay en la molécula” (diario del profesor).

El ajuste de ecuaciones químicas se encuentra relacionado con la representación de los cambios químicos, y no es un proceso sencillo para los alumnos de este nivel. Ahora bien, el concepto de conservación de átomos durante

el cambio químico sí fue aceptado con relativa facilidad.

La novena sesión comenzó con una revisión de lo trabajado hasta ese momento a partir de la realización de una actividad en la que los alumnos debían representar, a escala submicroscópica, algunos cambios químicos. Algunos grupos realizaron en primer lugar la representación haciendo uso de fichas de colores (figura 8), mientras que unos pocos representaron el cambio directamente en el papel, dibujando mediante esferitas los átomos sin necesidad de manipular ningún modelo mecánico. En estas ocasiones los alumnos continuaron preguntando sobre la geometría de las moléculas, dato que se les proporcionaba recordándoles que los modelos abordados no permiten su predicción. En la imagen vemos un ejemplo del portafolio de Pilar (figura 8). En ambos casos, los estudiantes se mostraron capaces de realizar representaciones del cambio químico.

108

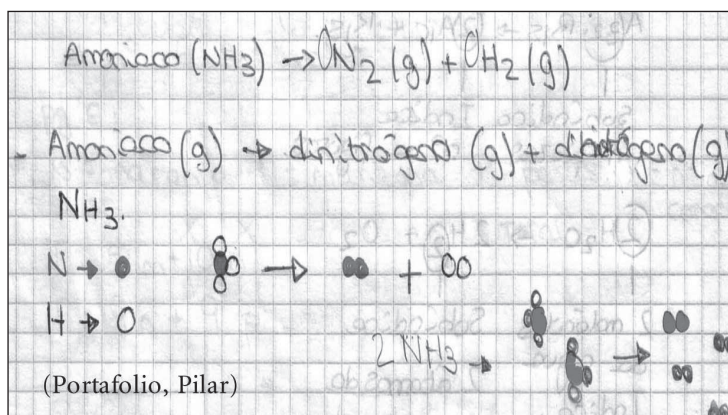


Figura 8. Representación del cambio químico: mediante un análogo de fichas de colores (izquierda) y mediante dibujos (derecha).

Por último, los alumnos escribieron la ecuación química ajustada representativa del cambio, y lo interpretaron de forma proposicional.

Una vez que parecía que la mayoría era capaz de realizar representaciones de los cambios a escala submicroscópica, se profundizó en la interpretación del cambio químico introduciendo el modelo de las colisiones, reiniciando de nue-

vo la primera etapa del proceso de modelización. La actividad realizada para ello, además de constituir una revisión de las ideas trabajadas, supuso la oportunidad de acercar a los alumnos a la tarea de construcción de modelos. Para facilitar la evolución de los modelos mentales sobre el cambio químico a escala submicroscópica, se partió de una situación análoga imaginada,

consistente en el choque de bolas de plastilina de dos colores diferentes, teniendo en su interior, las del mismo color, un imán. Inicialmente se proporcionó a los alumnos una cajita que contenía dos bolas de diferente color (una con 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. Se pidió a los alumnos que simulasen el proceso agitando la caja y anotando las observaciones (figura 9):

“ha tenido que haber movimiento para que las bolas choquen, se separen y después se unan de otra manera”, “para que se separen tienen que chocar varias veces”, “las uniones no son igual de intensas, en las roja no hay imán pero en las amarillas si hay” (portafolio de Roberto).

“Las moléculas se mueven a causa de la temperatura. Después tienen que chocar y unirse de forma diferente, de forma que la atracción de los átomos será más intensa que en los átomos al principio” (portafolio de Roberto).



Figura 9. Simulación analógica para representar de forma dinámica la teoría de las colisiones.

Como en otras actividades en las que se usan analogías, consideramos esencial instar a la reflexión sobre la diferencias entre el objeto y el análogo:

“La atracción entre los átomos no es debido a la adhesión de la plastilina ni a la adhesión de los imanes y hay muchísimas moléculas que chocan y se parten y muchos átomos que se unen para formar otras moléculas” (comentario de Lola, diario del profesor).

La realización de esta actividad permitió trasladar características del análogo, que corresponde a una situación concreta y manipulable por los alumnos, al objeto de estudio, que es abstracto e inaccesible, al mismo tiempo que favorece la construcción de un modelo mental sobre el objeto y su representación proposicional.

La décima y undécima sesión sirvió para que los alumnos consolidasen el modelo a tra-

vés de su aplicación para interpretar la descomposición del agua, la combustión del carbón, la fotosíntesis, o la reacción entre el cinc y el ácido clorhídrico, entre otros. Con posterioridad debían representar simbólicamente los cambios mediante dibujos con esferas y mediante una ecuación. Asimismo se pidió que detectasen limitaciones en la aplicación de dicho modelo a la interpretación de tales fenómenos.

“La fotosíntesis es un proceso muy complejo pero no lo pueden hacer las personas. Es de varios pasos. No se puede interpretar aplicando directamente la teoría de las colisiones, sino que ocurre a través de varias etapas, y requiere la intervención de otras sustancias que se encuentran en los cloroplastos de las plantas” (Portafolio, Roberto).

Con respecto a la detección de estas limitaciones del modelo es preciso decir que fue necesaria la formulación de preguntas orientadoras al respecto:

“Creo que sería conveniente introducir alguna pregunta que les oriente y les haga reflexionar sobre este punto y las posibles limitaciones de la aplicación de la teoría de las colisiones. De forma espontánea no parece que se vayan a plantear” (diario del profesor).

En la duodécima sesión los alumnos realizaron un examen sobre los contenidos trabajados hasta este momento. Dicho examen quedó después incluido en el portafolio individual. Éste, junto a los registros realizados en el aula, constituyeron precisamente los instrumentos para evaluar y para calificar a los alumnos. Durante la decimotercera sesión los alumnos tuvieron la ocasión de revisar el examen realizado y reflexionar sobre el mismo, de modo que tuvieron la posibilidad de valorar los logros alcanzados y detectar las ideas y procedimientos que desarrollaban imprecisa o incorrectamente.

En la siguiente sesión se analizó la dificultad de identificar sustancias que intervienen en un proceso químico, sobre todo cuando se trata de gases, así como medir sus masas. Para el caso particular de la combustión, por ejemplo, he aquí un fragmento del diario del profesor que ilustra los logros al respecto alcanzados por los alumnos como consecuencia de la intervención:

“los alumnos comentan que es necesario oxígeno y que se desprende dióxido de carbono y agua. Concluimos que para estudiar la variación de masa durante la combustión habría que tener en cuenta todos los gases” (diario del profesor).

En este marco, una actividad analógica planteada a continuación sirvió para realizar predicciones sobre las variaciones de masa durante el cambio químico. En ella se pedía a los alumnos que, mediante un experimento mental, concluyesen qué ocurriría con la masa de las figuras que se forman ensamblando y desmontando piezas de lego. La conclusión debía trasladarse al sistema químico:

“En los juegos de construcción la masa de los objetos iniciales es la misma que la de los objetos finales porque las piezas son las mismas pero están unidas de forma diferente. En una reacción química la masa de los reactivos es la misma que la de los productos porque los átomos son iguales pero unidos de forma diferente” (Porfolio, Roberto).

Durante esta sesión se pudo apreciar que algunos alumnos tenían aún dificultades para interpretar las representaciones de los cambios químicos a escala submicroscópica, confundiendo el significado de los coeficientes estequiométricos y de los subíndices de las fórmulas, e incluso los conceptos de átomo y molécula. De modo que pareció necesario retomar estas cuestiones realizando una actividad en la que los alumnos tuviesen que representar sistemas e interpretar representaciones.

Posteriormente los alumnos planificaron y llevaron a cabo pruebas experimentales para comprobar las predicciones realizadas sobre la conservación de la masa. Los alumnos se mostraron muy participativos y no tuvieron dificultades para realizar estas tareas:

“Todos dicen que hay que usar recipientes que se cierren y pesar antes y después” (diario del profesor).

Es preciso añadir que la intención de la actividad no era la introducción del concepto de conservación de la masa, máxime teniendo en cuenta las dificultades experimentales y los riesgos que puede comportar la interpretación que los alumnos hagan de los resultados, dificultades por otro lado similares a las que aparecen a lo largo de la historia de la química (Andersson, 1990; Prieto, T., Blanco, A., González, F., 2000) sino la de trabajar sobre el proceso de verificación de modelos, más que la validación del modelo en sí, discutiendo e interpretando siempre los resultados experimentales, tal como se recoge en el diario del profesor.

“Virginia levanta la mano y añade que está de acuerdo con Nieves, que no es necesario realizar la experiencia, que seguro que la masa no cambia porque el recipiente está cerrado y no se escapa ni entra nada y que los átomos no pueden desaparecer de pronto. Añado que estando de acuerdo con ella, lo único que pretendemos es trabajar de forma similar a como lo hacen los científicos, que se trata sobre todo de trabajar sobre una forma de validar modelos, más que de la validación en sí. Virginia parece aceptar la respuesta y dice que, de todos modos, hacer la experiencia será divertido” (Diario del profesor, sesión 15).

Cada grupo de alumnos realizó un cambio químico, de su elección, para continuar con el

proceso de verificación. Algunos decidieron estudiar la combustión del papel, otros la reacción entre el cinc y el clorhídrico, etc:

“Se mete un trozo de papel en una campana con oxígeno. Después prendemos el papel, que produce CO₂ y vapor de agua y cenizas. Antes de esto hay que pesar el recipiente con oxígeno y papel, y después de haber quemado el papel” (Portafolio, Roberto).

“Se vierte en un recipiente cerrado malaquita y ácido clorhídrico y se pesa antes y después de la reacción” (Portafolio, Antonio).

Los alumnos encontraron valores muy similares para las masas iniciales y finales en los sistemas sobre los que habían trabajado, pero no idénticos, de modo que fue necesario realizar una discusión de los datos. Se hizo además una interpretación de lo sucedido a escala submicroscópica. Las conclusiones a las que llegaron fueron las mismas en todos los casos:

“dicen que la masa no ha cambiado después de la reacción y que se explica teniendo en cuenta que las sustancias están formadas por moléculas y átomos y que en un cambio químico los átomos son los mismos pero unidos de manera diferente al principio y al final” (diario del profesor).

En la última sesión se continuó con el proceso de comprobación de modelos, en concreto con las ideas desarrolladas en el modelo de colisiones. Para ello se pidió a los alumnos que hiciesen predicciones sobre los cambios que se observarían en un sistema en el que ocurre un cambio químico cuando se provoca una variación de la temperatura. Como los alumnos no realizaron espontáneamente ninguna predicción, se formularon algunas preguntas orientadoras:

“Les pido que piensen en el modelo cinético molecular de la materia y la relación que existe entre la temperatura y el movimiento de las moléculas. Roberto dice que van más rápido y les pido que trasladen esa idea al modelo de colisiones. Virginia dice que chocarían más y les digo que además de chocar más veces lo hacen a mayor velocidad. ¿Qué podría ocurrir con las moléculas? Le pregunto a Marta, ésta responde que le parece que se romperían antes. Les digo que efectivamente, y Marta añade que la velocidad de las reacciones debe aumentar” (diario del profesor).

La constatación de este hecho en el caso de la descomposición de los alimentos fue suficiente para aceptar la idea de aumento de velocidad de reacción al aumentar la temperatura. Se hizo además una reflexión sobre el procedimiento que se estaba usando para poner a prueba y verificar el modelo de las colisiones.

A través de un proceso de diálogo en el que participó todo el grupo, y a modo de síntesis, se comenzó la última fase del proceso de elaboración de modelos, consistente en el establecimiento del campo y de los límites de validez de los mismos. Estas limitaciones ya se habían ido poniendo de manifiesto a lo largo del desarrollo de la unidad. Así se concluyó que mediante el modelo atómico de Dalton modificado podemos interpretar, a nivel submicroscópico, los cambios químicos, las proporciones en la que intervienen las sustancias en una reacción y la ley de conservación de la masa. En cambio el modelo atómico de Dalton modificado no explica la divisibilidad del átomo ni los fenómenos en los que interviene la electricidad.

Al mes de finalizar la unidad didáctica, los alumnos respondieron a las mismas preguntas sobre el cambio químico que constituyeron las actividades iniciales sobre el mismo, se incluyó una pregunta sobre el cambio químico en un examen que hicieron en la misma fecha sin que estuviesen prevenidos, realizaron un cuestionario sobre las actividades analógicas y otro sobre la naturaleza de los modelos científicos. Posteriormente, los alumnos pudieron analizar sus respuestas y compararlas con las que habían dado al comenzar la unidad, de forma que, con la ayuda de la profesora, realizaron una reflexión y un análisis sobre los logros alcanzados, qué cosas habían aprendido, en qué habían mejorado y en qué debían mejorar aún.

Implicaciones didácticas

Con el presente trabajo se pretendía desarrollar y poner en práctica una propuesta didáctica basada en las tareas de construcción de modelos que, recurriendo a las analogías como continuo apoyo y eje vertebrador, permitiese

desarrollar en los alumnos las capacidades de modelización, su comprensión sobre la naturaleza de los modelos en la ciencia y hacer evolucionar los modelos que manejan sobre el cambio químico.

Si bien el grado en el que se ha conseguido esto último está siendo en la actualidad objeto de análisis y reflexión, la crónica de acontecimientos que acabamos de relatar a través de la descripción del caso nos permite ya dilucidar algunas implicaciones didácticas en cuanto al valor de las analogías como instrumento de desarrollo de las competencias de modelización de los alumnos.

En primer lugar, podemos afirmar que, siguiendo las aportaciones de Justi y Gilbert (2002) se ha conseguido concretar un conjunto de criterios que han permitido el diseño e implementación de una unidad centrada en el uso de analogías como recurso habitual para introducir a los alumnos en las ideas, procesos y valores relacionados con la construcción de modelos sobre el cambio químico. Particularmente, se ha planteado un modelo conceptual de referencia sobre el cambio químico así como las competencias necesarias para la tarea de elaboración de modelos y para adquirir una visión adecuada sobre la naturaleza de los modelos científicos. Así mismo, se ha establecido una metodología afín a la propuesta y, por otra parte, se ha concretado una estructura coherente con el proceso de construcción y uso de modelos a la vez que se emplean las actividades analógicas como herramienta favorecedora de este mismo proceso, de la evolución de los modelos de los alumnos sobre el cambio químico, así como de sus habilidades y destrezas de modelización y de sus concepciones sobre la naturaleza de los modelos científicos.

Por otra parte, además, los datos que hemos ofrecido como apoyo e ilustración de la crónica descrita, ya sean a través de fragmentos del diario del profesor o de los portafolios de los alumnos sugieren, en efecto, el positivo papel de las analogías en el aprendizaje de los alumnos y, a la larga, en el desarrollo de las competencias contempladas como hipótesis de trabajo de la planificación propuesta. En trabajos posterior-

res se ofrecerán datos sistemáticos más precisos en este sentido.

En relación a los aspectos satisfactorios y a los problemáticos surgidos durante el desarrollo de las sesiones, y pretendiendo simplemente recoger las impresiones que produjeron el desarrollo de las actividades, señalamos que se percibió un excelente grado de participación en los alumnos, que mostraron un gran interés y unas excelentes actitudes hacia el aprendizaje. Esto se desprende del gran número de intervenciones de los estudiantes recogidas en el diario del profesor. No obstante, aunque los estudiantes se implicaron mucho en las actividades orales, les costaba más trabajo desarrollar con suficiente extensión las actividades escritas, tendiendo a expresarse quizás con excesiva brevedad, de hecho, las intervenciones orales recogidas en el diario del profesor no están en ocasiones reflejadas en los portafolios de los alumnos. Por otra parte, es oportuno añadir que fue preciso hacer indicaciones continuas a los alumnos sobre cómo trabajar en los grupos colaborativos y que, mientras que algunos mejoraron sustancialmente, otros trabajaron de forma bastante individual. Debemos indicar además que quizás fuera conveniente insistir en los aspectos metacognitivos del aprendizaje, haciendo a los alumnos más conscientes del sentido de las actividades y de la secuencia de modelización llevada a cabo en la propuesta didáctica. A todas luces, las primeras impresiones, aun cuando requieren como decimos de un análisis más minucioso, pueden considerarse alentadores y nos animan a continuar investigando sobre las posibles aportaciones del diseño didáctico realizado en el aprendizaje de los estudiantes.

REFERENCIAS

- ANDERSSON, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations, *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
- 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.J. y MUÑOZ-TRILLO, P. (2002). *Aplicaciones de la analogía en la educación*. Sevilla: Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía.
- CHAMIZO, J.A.; NIETO, E. y SOSA, P. (2002). La enseñanza de la química. Tercera parte. Evaluación de los conocimientos de química desde secundaria hasta licenciatura. *Educación Química* 15(2), 108-112.
- DAGHER, Z. y COSSMAN, G. (1992). Verbal explanation given by science teachers: Their nature and implications. *Journal of Research in Science Teaching*, 19, 361-374.
- 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.
- DRIVER, R.; GUESNE, E. y TIBERGUIEN, A. (1989). *Ideas en la infancia y en la adolescencia*. Madrid: Morata-MEC.
- 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), 1.325-1.343.
- GÓMEZ CRESPO, M.A.; POZO, J.I. y GUTIÉRREZ, M.S. (2002). Enseñando a comprender la naturaleza de la materia: el diálogo entre la química y nuestros sentidos. *Educación Química*, 15(3), 198-209.
- GILLESPIE, R.J. (1997). The Great Ideas of Chemistry *Journal of Chemical Education* 74 (7), 862-864.
- HODSON, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14(5), pp. 541-562.
- JOHNSTONE, A.H. (1982). Macro and micro chemistry. *School Science Review*, 64, 295-305.
- JENSEN, W.B. (1998). Logic, History, and the chemistry textbook ii. Can we unmuddle the chemistry textbook? *Journal of chemical education* 75 (7), 817-828.
- JUSTI, R. (2006). La enseñanza de la ciencia basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (2), pp. 173-184
- JUSTI, R. y GILBERT, J.K. (2002). Modelling teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modelers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- JUSTI, R. y GILBERT, J.K. (2006). The role of analog models in the understanding of the nature of models in chemistry. En P.J. Aubusson, A.G. Harrison y S.M. Ritchie (eds.), *Metaphor and analogy in science education*, pp. 119-130. Dordrecht: Springer.
- LAWSON, A.E. (1993). The importance of analogy: a prelude of special issue. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1.213-1.214.
- OLIVA, J.M. y ARAGÓN, M.M. (2009). Aportaciones de las analogías al desarrollo de pensamiento modelizador de los alumnos en química. *Educación Química*, 20(1).
- OLIVA, J.M. y ARAGÓN, M.M. (en prensa). Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*.
- OLIVA, J.M.. (2004). El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(3). En línea en: <http://www.saum.uvigo.es/reec/>.
- OLIVA, J.M.; 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), 453-470.
- OLIVA, J.M^a; ARAGÓN, M.M.; BONAT, M. y MATEO, J. (2003). Un estudio sobre el papel de las analogías en la construcción del modelo cinético-molecular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 429-444.
- 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.
- PRIETO, J.L.; BLANCO, A.; GONZÁLEZ, F. (2000). *La materia y los materiales*. Madrid. Síntesis.
- REYES, F. y GARRITZ, A. (2006). Conocimiento pedagógico del concepto de "reacción química" en profesores universitarios mexicanos. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, vol. 11, num 31, 1175-1205.

- SOLSONA, N. IZQUIERDO, M. y JONG, O. (2003). Exploring the development of students' conceptual profiles of chemical change. *International Journal of Science Education*, 25 (1), 3-12.
- TRINIDAD-VELASCO, R. y GARRITZ, R.A. (2003). Revisión de las concepciones alternativas de los estudiantes de secundaria sobre la estructura de la materia. *Educación Química*, 14(2), 72-85.

ABSTRACT

Analogies and modelling in teaching of chemical change

This paper presents an approach of teaching and learning science for the topic of the chemical change in secondary education (9th grade) using analogies as organizer content. It wasn't only a question of learning models to represent substances and of interpreting the chemical change but, it was also developing competencies related to the modeling in chemistry. Firstly, the structure and the approach foundations are presented so that a chronicle of his implementation with a sample of 15 students of this level can be shown secondly. The teacher diary and the student portfolio were used as instruments to get information. The analysis carried out allowed the possibility of verifying the usefulness of the analogies as resource to achieve an effective learning of the chemical change, as in a theoretical level in relation to the modeling and to an appropriated knowledge on the nature of the models in chemistry.

KEY WORDS: *Analogies; Chemical change; Science teaching; Modelling.*

RÉSUMÉ

Utilisant des analogies pour l'enseignement du changement chimique et des procédés de modélisation

Dans ce travail on montre une proposition pour l'enseignement et l'apprentissage du changement chimique dans l'éducation secondaire obligatoire (3^{ème}) en employant des analogies comme élément moteur. Il s'agissait non seulement d'apprendre les modèles pour représenter les substances et pour interpréter le changement chimique, mais aussi de développer les compétences en rapport avec les procédés de modélisation en chimie. Tout d'abord, on présente la structure et les fondements de la proposition, et ensuite on décrit son implémentation avec un groupe de 15 étudiants. Comme instrument de compilation d'information on emploie le cahier du professeur et le portfolio de l'élève. L'analyse effectuée permet de vérifier l'utilité des analogies comme outil pour les processus d'intervention didactique qui essaient de promouvoir un apprentissage significatif autant au niveau théorique qu'en relation aux procédés de modélisation impliqués et à une connaissance adéquate sur la nature des modèles en chimie.

MOTS CLÉ: *Analogies; Changement chimique; Enseignement des sciences; Modélisation.*