

Aportes a la modelización según el cambio químico

Cristian Merino Rubilar¹ y Mercè Izquierdo i Aymerich²

ABSTRACT (Contribution to modelling in chemical change)

The present paper deals with the chemistry that is taught in schools from an epistemological and cognitive approach. We wonder about the meaning that can have the discipline for those who learn without identifying with the academic purposes because they are elementary school students working in a specific context (the school). From this reflection, we propose a chemistry course for initial training of elementary school teachers with a modeler orientation. From an epistemological point of view we are working with the notion of 'theoretical model', which is derived from current cognitive philosophy of science's perspective, which proposes a semantic concept of a scientific theory facilitating the approximation of the phenomena and the theory that explains them. The cognitive dimension leads us to identify the consistency between the experimental interventions of students, their abstract representations and the language they use to explain what they do, what happens and why happens when they intervene in chemical phenomena. We identify the modelling process with a progressive fit between the three dimensions of human cognition to acquire the Chemical Change Model that guides and gives coherence to the lessons. Narratives were used that kept the interest of students and they refined their explanations during the modelling process. Discourse analysis of students during the learning process enabled us to identify the relations students established between their representations and their experimental interventions and the language they used. All this brought a new perspective to assess means for students to progress and to establish comparisons between them.

KEYWORDS: chemistry education, modelling, chemical change, curriculum, case studies

1. Introducción

La investigación en educación química en torno a modelos (ya sea a nivel curricular o como estrategia de enseñanza) ha tomado una importancia creciente, debido a nuevas finalidades educativas que demandan que los estudiantes logren 'saber hacer química', es decir, ser competentes en la aplicación de los conocimientos científicos a su propia realidad. Ya no es necesario almacenar información en la memoria, sino que los profesores han de procurar que lo que se enseña se aprenda de manera significativa, para que se pueda aplicar y ello permita continuar aprendiendo. Esta nueva orientación de los currículos, tanto de la enseñanza básica como de la universitaria, obliga a diseñar con urgencia una nueva manera de practicar la química en la formación inicial de los profesores de ciencias.

Esta investigación abarca diversos campos: el estudio de las experiencias o fenomenografía (Andersson, 1990); los perfiles conceptuales (Mortimer, 1995); la influencia del contexto (Taber, 2006; Bulte *et al.*, 2006); el análisis del discurso en el aula (Mortimer, 1998); el conocimiento pedagógico del contenido (Shulman, 1986). Todos ellos convergen en una pregunta central: cómo se construye (y se desarrolla) la 'actividad científica escolar', concretada en 'actividad química escolar' (AQE). Una actividad científica que sea competente ha de conseguir involucrar a los alumnos, los cuales han de poner en juego sus capacidades cognitivas: pensar, hacer y comunicar de manera coherente. Y para ello va a ser necesario que puedan representarse mentalmente y de manera simbólica las situaciones experimentales en la que están interviniendo. Con ello, los alumnos pueden 'entrar en el juego de la química' (Gilbert *et al.*, 2002), es decir, desarrollar actividad química genuina (Prins *et al.*, 2008), la cual, aunque no sea idéntica a la de los químicos, pueda también generar criterio químico. Esta actividad comprende las condiciones de emergencia de los 'modelos' que serán adecuados a esta química comprensiva, aplicable, que queremos que se aprenda en nuestros centros de enseñanza.

Para el análisis del proceso de modelización del cambio químico en el aula, aplicamos y conjugamos las ideas que describen Izquierdo (2004), Izquierdo y Adúriz-Bravo (2003), Izquierdo *et al.* (1999a; 1999b) y Espinet, *et al.* (2010) según la caracterización de ciencia escolar de Adúriz-Bravo e Iz-

¹ Instituto de Química, Laboratorio de Didáctica de la Química. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Campus Curauma. Avenida Universidad 330. Valparaíso, Chile.

Correo electrónico: cristian.merino@ucv.cl

² Departamento de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales. Universidad Autónoma de Barcelona. Campus UAB. 08193.

Correo electrónico: merce.izquierdo@uab.es

Recibido: 10 de noviembre de 2010.

Aceptado: 2 de febrero de 2011.

quierdo (2009). En esta investigación nos preguntamos cómo sintonizan los lenguajes, los experimentos y las representaciones (LER) en un proceso de 'modelación' cuyo resultado sea el conocimiento químico escolar competente.

2. Marco teórico

Creemos, como muchos profesores de química, que tener criterio químico es ser capaz de identificar los 'cambios químicos' en el mundo que nos rodea. Por ello es sorprendente que, en la mayoría de los libros de texto, el capítulo dedicado a los cambios químicos se sitúa después de otros capítulos dedicados a los átomos y a los enlaces, a las fórmulas y a la estequiometría. Nuestra investigación aporta un punto de partida diferente: considera que 'estudiar química' es mantener abierta una pregunta sobre lo que son estos cambios con un esfuerzo constante para controlarlos y, así, desarrollar la intuición sobre cómo se actúa al intervenir en los cambios químicos que contribuye a elaborar las respuestas. (Desarrollamos esta idea en el apartado 2.1.)

Con ello, proponemos tomar en serio algunos fenómenos concretos escogidos cuidadosamente y presentarlos a los alumnos como problemas abiertos que proporcionan el contexto y la oportunidad para introducir las ideas químicas fundamentales, gracias a las cuales el problema toma sentido, se resuelve y puede relacionarse con otros problemas significativos para la química. Es decir, 'modelizamos el fenómeno':¹ lo 'colonizamos' al aplicarle las ideas químicas (las leyes del cambio químico) y al representarlo, en la medida de lo posible, mediante la teoría atómica que permitirá llegar a introducir el lenguaje de fórmulas, imprescindible para comunicar 'lo que pasa' cuando se produce un cambio químico. Con ello, un cambio 'natural' se transforma en un cambio químico, que será un ejemplo para identificar otros similares. (Lo veremos en el apartado 2.2.)

Se podría avanzar así, paso a paso, aprendiendo a controlar interacciones entre materiales, a lo largo de los cursos de primaria y secundaria, y también en la universidad, para ir elaborando evidencias y conceptos en relación con los cambios químicos que son relevantes para el arte, la biología, la geología, la filosofía, la historia, la industria, la vida cotidiana, la tecnología. (Se proponen criterios para programar según esta perspectiva en el apartado 2.3.) Finalmente, en el apartado 2.4 hacemos un resumen de estas reflexiones y formulamos una de las preguntas que orientan nuestra investigación.

2.1. Centrar la química escolar en el cambio químico

La química es una disciplina relativamente moderna (empezó a enseñarse de manera generalizada en las universidades ya bien entrado el siglo XIX) pero la actividad intencionada y

controlada de transformación de los materiales que le es propia es muy antigua. Mucho antes de que Lavoisier propusiera su teoría de la combustión a finales del siglo XVIII funcionaban laboratorios químicos en los que se analizaban minerales y se sintetizaban medicinas, colorantes y productos cosméticos (entre muchos otros materiales útiles), y se escribían libros en los que se divulgaban y razonaban los métodos de obtención y de control de los procesos de cambio 'químico' de los materiales.

Una mirada global a la historia de la química permite afirmar que es la de una 'ciencia del cambio de los materiales' que finalmente se ha llamado 'químico' y que se caracteriza porque en él unos materiales desaparecen y aparecen otros nuevos. Permite también identificar 'hitos' en los que determinadas interacciones entre materiales permitieron identificar regularidades y, con ello, establecer 'leyes' que eran propias de este peculiar cambio y que, a la vez, contribuían a definirlo. Estas leyes iban configurando una manera de imaginar la estructuración de los materiales que hacían verosímil esta especial transformación que, sin ello, podía parecer mágica. Primero se conocieron y estudiaron cambios químicos, después se configuraron las 'reglas' que los relacionaban entre ellos y los conceptos que permitieron representarlos y los símbolos que facilitaban la comunicación de las particularidades de los cambios que, por otra parte, iban formando parte del paquete 'cambios químicos' porque compartían lo que se consideraban sus características principales.

Lo que hace que la química sea una ciencia viva es el interés por los cambios, no el dominio de unas determinadas definiciones, ni tan sólo una determinada representación de la estructura de los materiales. Lo que sabemos ahora de esta última, aunque pueda parecer que ha sido sugerida por sus propiedades físicas, ha sido cuidadosamente contrastado/complementado con su comportamiento químico, que para nosotros, como profesores de química, es prioritario.

En la enseñanza de la química el panorama es muy diferente del que nos muestra la historia. Se va muy 'de prisa', los siglos de historia es como si no existieran, como si no tuviéramos que aprender nada de ellos. Se empieza por mostrar cómo son los materiales para que, supuestamente, su comportamiento no sorprenda a nadie. En la mayoría de libros de texto el cambio químico no aparece como algo especial y sorprendente que se ha de ir conociendo poco a poco para llegar a comprenderlo, sino que se define desde el principio como una 'reorganización de átomos de los elementos' que tiene lugar cuando reaccionan sustancias, que son diferentes de las mezclas. Detengámonos aquí: aunque sea muy brevemente, ya vemos que estas tres definiciones alejan al alumnado del mundo real: los átomos no se ven, los elementos tampoco, las sustancias puras casi no existen en el mundo que nos rodea y la reorganización de los átomos puede asimilarse a un juego de Meccano que, desde luego, no es un cambio químico. En estos textos no se abordan cambios químicos y ejemplos de ellos hasta unas cuantas lecciones más adelante y, cuando se hace, se presentan todos a la vez, convenientemente clasifica-

¹ Es frecuente que los modelos representen las entidades científicas con las que el fenómeno se interpreta y no al propio fenómeno, del cual emanan las entidades

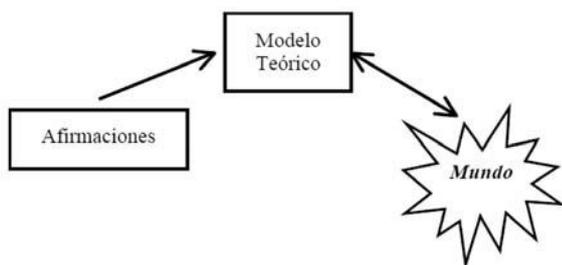


Figura 1.

dos: orgánicos e inorgánicos, de ácido–base, oxidación–reducción, de sustitución, de síntesis, de descomposición...

En cambio, una mirada atenta a propuestas innovadoras de enseñanza de la química nos sugiere otro camino: el de los ejemplos paradigmáticos, pocos y trabajados a fondo (ver, como ejemplo, el proyecto CBA de los años sesenta y, ahora, el proyecto ChiK). Nosotros seguimos esta orientación, dejándonos inspirar por los hitos en la historia. Nos fundamentamos, en consecuencia, en las propuestas actuales de la filosofía de la química que la consideran como una actividad humana que se desarrolla en el tiempo y en un determinado contexto cultural con la cual se interviene en los fenómenos y los modeliza: los contempla desde una teoría que proporciona una mirada de conjunto y permite establecer relaciones.

Como didactas/profesores, sabemos muy bien que nuestro contexto es la clase y el futuro para el cual educamos a nuestros alumnos. Ya que 'la modelización' es la principal característica del trabajo de los científicos, nosotros debemos identificar la modelización que podrían llevar a cabo los alumnos y los profesores en la clase de química (Izquierdo, 2004; Izquierdo, 2006 en esta misma revista; Izquierdo y Merino, 2009; Merino, 2009); por ello nos hemos ocupado de identificar lo que puede ser un 'modelo-teoría' de la química en clase y de proponer estrategias para el proceso de modelización que puedan ser útiles en una enseñanza de la química para todos.

La cuestión es cómo hacer que las preguntas que dan sentido a una disciplina (la química, en nuestro caso) tengan también sentido para quienes están aprendiendo.

2.2. Nuestro concepto de modelo y de modelización

El fundamento teórico de nuestra propuesta de modelización toma como referente tanto las ideas del filósofo R. N. Giere (1988) (y de otros defensores de una orientación cognitiva de la filosofía de las ciencias) como las preguntas propias de la investigación en didáctica de las ciencias y fueron expuestas ya en 1995 (Izquierdo, 1995; Sanmartí e Izquierdo 1997; Izquierdo *et al.*, 1999a y b) y desarrolladas en Izquierdo y Adúriz (2003) como también en Merino *et al.* (2006, 2008 y 2009). Nuestro principal interés es aún (como lo era ya entonces) diseñar una ciencia escolar; nuestras preguntas se derivan de la constatación del gran salto que supone considerar al alumno como científico y anticipábamos ya que para ello es necesaria una fundamentación epistemológica específica.

Las aportaciones de Ronald Giere nos ayudaron por varias razones, que recordamos brevemente: por considerar que las ciencias son 'realistas según la perspectiva' y por el concepto semántico de teoría científica que propone. Ambas convergen en destacar que las ciencias construyen 'hechos paradigmáticos (idealizados)' que muestran cómo han de utilizarse los conceptos teóricos que se elaboran en ellas.

El concepto semántico de teoría científica que proponen Giere y otros nos parece muy relevante, puesto que permite incidir en el principal problema en la enseñanza de la química: la relación entre teoría y práctica, que permita un uso significativo de las fórmulas. Destaca que las teorías han de tener significado en el mundo real (son 'similares') y que, tal como las utilizan los científicos, dan lugar a un conjunto de 'hechos idealizados' de los cuales se habla tal como corresponde a las entidades de la teoría y que son, por ello, sus modelos teóricos. Una teoría científica no es el conjunto de axiomas y entidades con la que se describe, sino el conjunto de sus 'modelos teóricos' (con sus relaciones hipotéticas/experimentales que las relacionan con los fenómenos del mundo real) que muestran en qué contexto fenomenológico tienen sentido las teorías y cómo se utilizan para intervenir en él y para explicar lo que pasa (figura 1).

Una mirada atenta a los libros de texto de química (que inspiran aún en gran parte la tarea del profesorado y evolucionan en relación estrecha con ella) nos indica que, efectivamente, en ellos se encuentran 'hechos idealizados' que se comunican mediante lenguajes específicos que se derivan de teorías (la teoría atómico-molecular). El gran problema es que, para los alumnos, existe una enorme distancia entre los hechos y su interpretación: es difícil aceptar que tanto la combustión de la madera como la oxidación del hierro o el cambio de color al mezclar dos disoluciones reciben una misma explicación: reorganización de átomos invisibles. No existe, por lo tanto, la relación de 'similitud' que es el origen de la visión teórica (modelizadora) de los científicos. Tampoco el lenguaje surge como una necesidad de comunicar las características de la representación teórica que va surgiendo, sino que es un lenguaje impuesto que, para algunos, nunca llega a significar más que un enorme galimatías.

¿No sería más razonable seleccionar 'hechos idealizables' que facilitarían el proceso de modelización y la emergencia de un lenguaje químico significativo para los alumnos? Ésta es la lección que aprendemos de Giere; si nos atenemos a ella, el panorama cambiaría de manera importante.

2.3 Una propuesta para contextualizar y modelizar según el cambio químico

Un 'novato' que se introduce en la disciplina ha de 'ambientarse' en una nueva cultura, ha de aprender a preguntarse sobre cantidades y relaciones, a intervenir experimentalmente mediante nuevos instrumentos que requieren nuevas maneras de actuar y que toman sentido en unos modelos que aún no conoce; no tiene autonomía para actuar y necesita de un profesor que le guíe en su actividad científica (Izquierdo,

2004). No sabe lo que son los átomos ni lo que significan las fórmulas. Es razonable pensar que, para introducirse en ello, lo más apropiado es mostrarle alguna situación/fenómeno a su alcance y la manera de trabajar en ella desde la química. Pero, enseguida, se le ha de mostrar al aprendiz que esta manera de trabajar se aplica a otros fenómenos similares; al ir avanzando en el conocimiento químico irá conociendo otros y otras maneras de trabajar. Estos hechos, en los que se interviene y que se aprende a explicar, son lo que se idealizan y se transforman en ejemplos que podrán funcionar como ‘modelos teóricos’ de una teoría general del Cambio Químico (de todos los cambios químicos) (Gilbert *et al.*, 2002).

Vamos a ilustrarlo con algún ejemplo. Podemos calentar azúcar en clase y observamos un cambio drástico: el azúcar desaparece, aparece carbón y vapores en los que identificamos un elevado porcentaje de agua (“hache dos o”, todos lo saben). El carbón pesa menos que el azúcar inicial; podemos inferir que el conjunto de vapores va a pesar la diferencia. Para justificar la aparición del carbón y agua y la no desaparición de masa, introducimos la existencia previa de los elementos carbono, hidrógeno y oxígeno en el azúcar, representados por átomos con una masa específica que arrastrarán allí donde vayan. Con estas ideas podemos interpretar muchos más fenómenos químicos, pero no todos. Los ‘similares’ serían las combustiones/descomposiciones de la madera y materias orgánicas y constituyen un ‘campo de fenómenos’ que se ‘idealizan’ de la misma manera; las llamas, la intervención o no del oxígeno (del aire) la estructura de muchas sustancias orgánicas formará parte de este campo. Los diferentes son, por ejemplo, fenómenos que se producen entre disoluciones; van a constituir un nuevo campo, en el cual es relevante la conductividad eléctrica; para justificarla, vamos a necesitar iones, átomos formados por electrones y núcleos (los electrones tampoco pueden desaparecer y esto, con ser obvio, va a comportar problemas y dificultades de interpretación que se deberán superar poco a poco... modelizando.² Estos ejemplos ilustran lo que puede ser una enseñanza de la química centrada en el cambio químico y no en la teoría atómica, por más

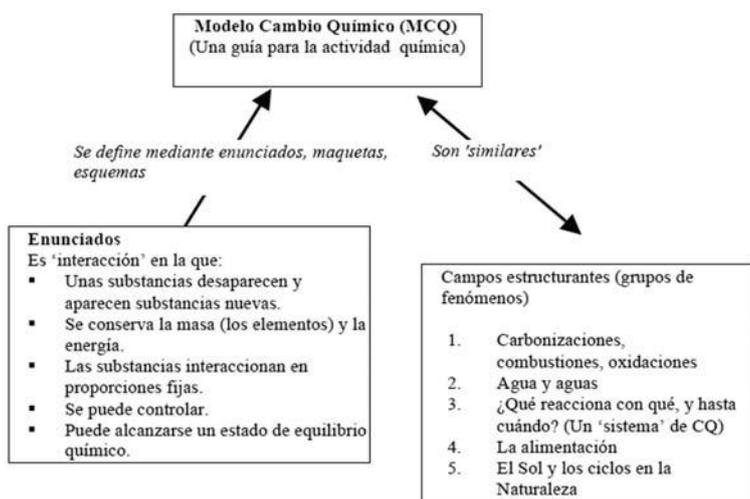
que ésta proporciona el lenguaje y la representación mental de lo que va pasando. Los ‘Hechos Idealizados’ son los que dan sentido a las entidades abstractas de la química.

El diseño de la propuesta requiere identificar ‘hechos idealizables’. Para ello se ha de seguir el proceso de epitomización propio de la teoría de la elaboración (Reigeluth, 1987, 1992), que consiste en ir relacionando los conocimientos que proponen los currículos de manera que puedan estar contenidos en el mínimo número de ideas posible. Estas ideas, básicas, simples y fundamentales con un gran poder explicativo puesto que se aplican a muchos fenómenos, se han de presentar de manera concreta: mediante un fenómeno igualmente básico y fundamental, que los alumnos modelizarán al intervenir en él guiándose por las preguntas: ¿Qué tengo? ¿Qué hago? ¿Qué pasa? ¿Por qué pasa? ¿Hasta cuando pasa?

Todos los fenómenos que llegarán a ser Modelos de Cambio Químico, han de compartir las siguientes ‘reglas del juego’ que van caracterizando lo que es el cambio químico:

- Unas sustancias desaparecen y aparecen otras.
- Se conservan los elementos. La masa se conserva (en los átomos, que incluyen electrones).
- Las sustancias reaccionan en proporciones fijas (en las ecuaciones).
- La energía se conserva (en los enlaces).
- El cambio se puede representar mediante átomos y enlaces.
- En el estado final se agota el ‘potencial químico’ disponible y puede ser de equilibrio químico.

La figura 2 permite representar lo que acabamos de decir de manera que la ‘ciencia escolar’ pueda compararse a la ciencia de los científicos, según Giere.



² Van a ser necesarios algunos campos más, pero no muchos. Necesitaríamos mucho más papel para explicar detenidamente cuáles constituirían una formación química básica.

Figura 2. Los fenómenos del mundo pueden ser MCQ, el cual puede definirse de la manera apropiada para que el acoplamiento sea posible.

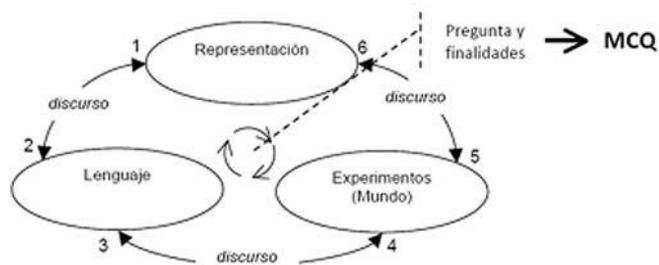


Figura 3. $L \leftrightarrow E \leftrightarrow R$. Relaciones Lenguaje-Experiencia-Representación (LER).

2.4. Nuestras preguntas

El modelo cognitivo de ciencia que hemos analizado nos permite abordar dos dimensiones: epistémica y cognitiva, de la química que se enseña (Izquierdo, Espinet, Sanmartí, 1999). La primera ha dado lugar a la selección de algunos 'hechos ejemplares' que corresponden a las maneras de hacer, pensar y hablar de los químicos. Así, cuando 'algo en el mundo tira de ellos', porque persiguen una finalidad valiosa, piensan sobre lo que se hace, se inventan los lenguajes adecuados a la nueva experiencia y establecen un consenso respecto a las maneras de explicar, para continuar actuando, pensando, comunicando con éxito (Guidoni, 1985). En caso contrario, cuando las preguntas no son las adecuadas, los lenguajes resultan vacíos, las teorías no tienen un significado experimental y los experimentos se llevan a cabo como si fueran una receta de cocina.

La pregunta que nos formulamos en nuestra investigación se refiere a un aspecto de nuestra propuesta que hasta ahora no se había tenido en cuenta. Los científicos inventan las afirmaciones, reglas, lenguajes al intentar encajar entre sí los hechos nuevos sobre los que se preguntan con los hechos que ya han sido interpretados (figura 1), pero los alumnos no pueden hacerlo con la misma autonomía, ya que se encuentran con una propuesta bastante cerrada de hechos en los cuales se le invita a intervenir y de lenguajes académicos a los cuales debe darse significado. Por ello, para que sea eficaz el proceso de modelización que se propone en la figura 2, debemos tener en cuenta la existencia de un lenguaje académico que los alumnos han de encajar y al cual han de dar significado.

Nos preguntamos cómo encajar esta situación característica de la enseñanza con el proceso de modelización científica que sabemos que es generador de conocimiento significativo, a la vez que inventa los lenguajes específicos, adecuados a las nuevas ideas emergentes.

Debido al contenido teórico que subyace en el lenguaje académico (con el que se escriben los libros y que los alumnos aprenden) e incluso en las prácticas experimentales que se les proponen, la modelización escolar requiere transitar entre los fenómenos del mundo y los académicos, entre los lenguajes de comunicación y los de los libros, entre el pensamiento cotidiano y el científico. Nuestra hipótesis de trabajo es que el discurso reflexivo en clase sobre las intervenciones en el mun-

do real, en el cual intervienen el docente, los alumnos, los libros y otros recursos materiales, establece una importante diferencia entre el MT de los científicos y el MT escolar, puesto que es gracias a él que se puede llegar a 'modelizar' en el aula. En este discurso se establecen nuevas relaciones no contempladas en las figuras 1 y 2 (figura 3).

A partir del análisis del discurso de los alumnos en sesiones de clase, en las cuales identificamos las seis 'transiciones' $L \leftrightarrow E \leftrightarrow R$ podemos comprender algo mejor cómo llegan a darse cuenta los alumnos de que dos fenómenos, la pirólisis de la madera y su combustión, se producen simultáneamente y son diferentes, por más que pueden llegar a explicarse mediante una misma representación-maqueta.

3. Descripción del modelo de análisis

Hemos analizado algunas de las clases de química que corresponden a una asignatura optativa de la diplomatura de Magisterio de diferentes especialidades, 'Química paso a paso'. Algunos de los alumnos habían cursado el bachillerato con química pero otros no habían estudiado ciencias desde la enseñanza secundaria obligatoria. Nuestro objetivo era que pudieran superar la barrera entre teoría y práctica que hace de la química una asignatura incomprensible para la mayoría de aquellos que no siguen estudios superiores en química; con ello pretendíamos proporcionar a los futuros maestros conocimientos de química que les resultaran útiles en su trabajo futuro.

En este artículo presentamos el análisis del discurso de seis grupos de tres a cinco alumnos de los dos últimos años en la fase de aplicación del primer tema.

3.1. El escenario de nuestra investigación

La propuesta química paso a paso se ha diseñado siguiendo las pautas que se han explicado en el apartado anterior y, aunque no nos preguntamos directamente sobre ellas en esta investigación, constituyen el telón de fondo de nuestro escenario. Por ello, nuestras preguntas de investigación contribuyen a desarrollar el Marco Teórico en el cual estamos trabajando.

El trabajo en clase se centra en los experimentos paradigmáticos, que se realizan y se discuten siguiendo el 'ciclo de aprendizaje' en el que diferenciamos cuatro etapas: exploración, introducción de conceptos, estructuración y aplicación (Sanmartí, 2002), todo ello formando parte de nuestra estrategia modelizadora y utilizando como orientación las preguntas:

- ¿Qué tenemos? (ontología: sustancias, elementos invisibles, pero que pesan).
- ¿Qué hacemos? (metodología: maneras de intervenir de la química).
- ¿Qué pasa? ¿Por qué pasa? (epistemología: justificación de la acción y del instrumento).

Estas preguntas se responden a nivel 'meso' y las entidades químicas que se introducen tienen sentido a este nivel, tal como corresponde a nuestra perspectiva 'realista según la qui-

mica' (queremos que los alumnos aprendan a ver lo que les rodea como 'sistemas químicos'). Por ejemplo, nos interesa que estén atentos a las diferencias entre las sustancias (la celulosa no es 'toda' la madera, y no es carbón, ni oxígeno...) para aprender a verlas, a todas ellas, como sustancias con estructuras, nombre y propiedades específicas. Los elementos-átomos los vemos como 'masas' con propiedades específicas que nunca se ven, sino que se deducen de las transformaciones sucesivas de las sustancias. Procuramos que se impliquen en los experimentos tal como hacen los químicos: cómo huele, cuál es su textura, etc. ... como pistas para hacer inferencias (Méheut & Psillos, 2004).

Como actividad de final de curso, central para la evaluación (en la cual se tuvo en cuenta también el aprovechamiento presencial a lo largo del curso el contenido de un portafolio que justificaron en una sesión específica de tutoría), nuestros alumnos realizaron un experimento que habían seleccionado a partir de un listado, que se les facilitó y que pudieron planificar e interpretar libremente.

Se dedican al curso un total de 37 horas de formación presencial. Los temas del programa corresponden a los campos estructurantes que aparecen en la figura 2. Han participado en esta asignatura 60 estudiantes de la carrera de Maestro de Primaria e Infantil, entre los cursos 2005-2009.

3.2. Desarrollo de las sesiones y estructura del proceso de modelización

La intervención docente que vamos a analizar forma parte de la primera unidad didáctica del programa, dedicada a la pirólisis y combustión de la madera y de otras sustancias que se comportan de manera similar. Se desarrolla según el ciclo de aprendizaje.

En la primera sesión (S1), los alumnos leyeron un texto sobre 'Obtener carbón'; se les explicó cómo funciona una carbonera y se simuló el fenómeno en clase, quemando parcialmente un montón de palillos y calentando un poco de serrín envuelto en papel de aluminio que simula la carbonera y se diseñaron experimentos para controlar el fenómeno: la madera ardía si estaba en contacto con el oxígeno y en caso contrario se carbonizaba. Se discutió lo que ha pasado y, por escrito, los alumnos hablaron de las diferencias entre la madera que se había quemado y la que se había transformado en carbón. En segunda sesión (S2) los alumnos discutieron a partir de lo que habían escrito. Por grupos propusieron un montaje para repetir la carbonización de manera más sistematizada y se decidió colectivamente cómo proceder. Cada grupo tomó cantidades diferentes de serrín y pesó el tubo en el que lo calentaron. Se procuró que observaran la aparición de agua, gases y carbón que antes no estaban allí. Los alumnos lo explican sólo como destilación de sustancias que ya estaban antes, idea que deberán llegar a cambiar. Se propone que los alumnos preparen una explicación lo más convincente posible utilizando las ideas nuevas que se han ido introduciendo en la discusión y reforzando la explicación mediante símbolos que les ayude a comprender que hay algo que no se puede ver pero que explica lo que pasa.

Tabla 1. Caracterización de las relaciones lenguaje-experimento-representación.

<i>Paradigma/ Sentencias</i>	<i>Complemento que enriquece la explicación de la sentencia</i>	<i>Transición L-E-R</i>	<i>Interpretación</i>
Frases de los alumnos	Contexto		

Se plantearon preguntas: *¿Dónde está lo que se ha perdido? ¿Cuánto pesa? ¿Qué es lo que estaba antes, en la madera y qué es lo que aparece de nuevo? ¿La relación de masas madera/carbón es siempre la misma?*

En las tercera y cuarta sesiones (S3 y S4), se trabajó en torno a dos nuevos fenómenos: la combustión de una vela y quemar lana de hierro, en los que participa una sustancia invisible, el oxígeno.

En las quinta y sexta sesiones (S5 y S6) la profesora propone, como tarea, la elaboración de maquetas que permitan explicar mejor sus ideas definitivas, después de haber reflexionado sobre todo lo que se ha ido diciendo y suponiendo que la madera está formada sólo por celulosa. Pone a disposición de los alumnos diferentes materiales para confeccionar la maqueta: plastilina, papel, mondadientes, bolas de poliestireno (porexpan, plumavit), kit de bolas y varillas. Los alumnos presentan sus maquetas, por grupos, y con ellas explican la carbonización de la madera al calentarla y responden a las preguntas de la profesora.

También debían explicar la diferencia entre 'carbonizar' y 'quemar', teniendo en cuenta que en este segundo caso interviene el oxígeno.

La secuencia que analizamos forma parte de la última sesión.

3.3. Instrumento para recoger los datos

A partir de nuestra experiencia en el desarrollo de la asignatura, hemos elaborado un instrumento de análisis que nos permite identificar las transiciones entre lenguaje (especializado) – representación – experimento. El contenido concreto de las expresiones de los alumnos toma sentido en el conjunto de la secuencia, según cuál sea su función en el proceso de aprendizaje. Este proceso será 'modelización' si se identifican las seis transiciones mediante las cuales interaccionan el pensamiento, la acción y el lenguaje (las palabras), con lo cual toman sentido los conceptos químicos de elemento, sustancia, sistema químico, átomo y enlace, los cambios químicos de descomposición y de combustión y las características de la experimentación química (tabla 1).

3.4. Obtención de los datos: nuestros alumnos en acción (la muestra)

El análisis que presentamos se refiere al primer foco de los dos que formaban parte de la actividad final del curso. Se refería a la elaboración y presentación de maquetas que simulaban el comportamiento de la madera al calentarla y al quemarla, para disertar sobre la transformación de la madera en carbón; con ella se reconstruye la carbonización de la madera y su

combustión como 'hecho químico'. Un alumno del grupo presentaba la maqueta y respondía las preguntas de la profesora; los otros alumnos del grupo intervenían también si lo consideraban necesario. En el segundo foco se pidió a los alumnos que explicaran lo que es un cambio químico en una carta dirigida a un familiar, a un amigo o a un alumno; presentaremos aquí algunos resultados.

El procedimiento de análisis se presenta enseguida:

F1 En este foco daremos cuenta de las actuaciones de los maestros frente a sus maquetas (Coll, Onrubia y Mauri, 2008):

- videograbación de las sesiones seleccionadas;
- transcripción de la exposición de la maqueta;
- identificación y descripción de los patrones de actuación de cada tipo de segmento de interactividad, en clave de Indagación (I), Iniciación (R), *Feed-Back* (F), Evaluación (E) para dar forma a los episodios.
- codificación en términos de las transiciones previstas; ($L \leftrightarrow R$; $R \leftrightarrow E$; $E \leftrightarrow L \dots$)
- reconstrucción y análisis de los eventos en clave de estas transiciones;
- elaboración de «mapas de transición» del conjunto de los episodios; análisis de la evolución de las actuaciones dominantes por cada episodio;
- interpretación global de los mapas de transiciones de los casos previstos

F2 En este foco daremos cuenta de las narraciones de los maestros. Tras identificar partes estructurantes en el texto para su análisis se procederá al análisis de los datos. Para que sea lo más rico posible y no condicione su interpretación se emplearán redes sistémicas (Bliss, J., Monk, M. y Orgborn, J., 1983).

- identificación de las partes estructurantes de las narraciones producidas por los maestros (introducción, desarrollo y conclusión);
- dentro de cada parte se construyeron redes, obteniendo una red por cada estructura;
- interpretación global de las narraciones elaboradas;
- codificación en términos de las transiciones previstas para los casos seleccionados provenientes del F2;
- elaboración de «mapas de transición»; análisis de la evolución de las actuaciones dominantes en los casos seleccionados;
- interpretación global de los mapas de transiciones de los casos previstos en esta actividad de aula.

4. Datos e interpretación

A continuación presentamos el análisis de las explicaciones del foco 1. En el apartado 4.1 se muestra el análisis de la explicación de Lorena, una de las integrantes del grupo G1 y un resumen de las de los otros cinco grupos. En el apartado 4.2

se presentan los resultados del análisis de las producciones escritas de los alumnos correspondientes al foco 2.

4.1. Explicaciones del Foco 1

Al transcribir el discurso de los alumnos y la profesora al explicar mediante la maqueta la pirólisis de la madera se identificaron los turnos, es decir cuando la docente inicia (I), y el estudiante responde a su pregunta (R), luego ante la respuesta obtenida la docente, retroalimenta la respuesta del alumno (F) para seguir obteniendo las ideas y finalmente (E) cuando la docente evalúa y considera que el nivel de la respuesta es apropiada y por tanto ha de continuar la exposición/presentación de la maqueta (tarea). Un ciclo IRFE corresponde a un episodio, del cual identificamos los segmentos empleando las nociones LER preestablecidas en la sección tres del marco teórico. A continuación presentamos uno de los seis casos revisados.

En el episodio 1 [Líneas 1-4a de la transcripción]

Lorena comienza su relato. Su maqueta está formada por bolas de 'plastilina' de distintos colores, negro, amarillo y rojo. Todas juntas constituyen una muestra de madera (serrín) en el mundo real, pero da un significado erróneo a las bolas.

Línea 2

- [1] Bien, digamos que los que tenemos aquí es la madera, vale, que
- es un conjunto de moléculas de H_2O , CO_2 y carbono, vale?

Tras aproximar la muestra de serrín al mechero Bunsen, el sistema se calienta. Las entidades (bolas) que inicialmente están todas juntas, se separan del grupo inicial ($R \rightarrow E$) [Línea 2 a-c].

Línea 2

- Eeeh, cuando le aplicamos fuego, que es energía, ¿vale? Lo que
- pasa es que se calienta y al calentarse se desprende el H_2O , que es
- el agua...

Se desprenden otras 'cosas' que se han de nombrar ($R \rightarrow L$) [Línea 2 d,e].

Línea 2

- ...y también se desprende el CO_2 y tenemos como resultado también
- el carbono...

Estas 'cosas nombradas' deberán relacionarse con el experimento. Ahora las bolas negras representan al carbono, que forma el residuo. No queda claro si se supone que forma parte del gas (CO_2) que continúa siendo una palabra, que se aplica pensando quizás, erróneamente, en la combustión de la madera. ($E \rightarrow L$) [Línea 2 e-h].

Línea 2

- ...y el carbono son las moléculas negras... los elementos negros

- f *que es lo que nos queda de residuo... dijéramos, entonces el CO₂*
 g *es gas que se nos escapa por el aire... dijéramos, y tenemos el*
 h *agua condensada en vapor.*

En el episodio 2 [líneas 5a-12a]

La historia que narra Lorena se va construyendo a partir de las intervenciones del docente, dando pie a la intervención de otros miembros del grupo. Continuando con el patrón temático contemplamos la situación planteada por el docente en la línea [3a, b: *y si dijéramos que también sale CO y alquitrán, cómo modificarías tu modelo*] invita a dar cuenta que del grupo inicial de bolas también 'sale' este miembro de la familia. Se da cuenta de ello ya que existen palabras en común: carbono, oxígeno e hidrógeno, que simplifican el conjunto de materiales que se obtienen. (R → L) [Líneas 8-11].

Línea 8

- a [3] *Por qué esté formada?*

Línea 9

- a [1] *Por carbono y por hidrógeno ¿no?*

Línea 10

- a [M] *Si...*

Línea 11

- a [1] *y oxígeno también...*

En el episodio 3 [Líneas 13a-23a]

La historia no llega a tomar sentido si no aparecen los actores principales, los átomos. En esta ocasión el docente introduce por primera vez preguntas sobre ellos. [Línea 12b], con lo cual la explicación se orienta hacia una idea básica que la maqueta estaba representando, la conservación de los átomos. Ahora es cuando volvemos al experimento, desde el punto de vista del lenguaje, 'tiene C' (E → L) [línea 14a].

Línea 14

- a [3] *Claro, lo que pasa es que la madera representa que tiene estos átomos (de carbono) y todo esto.*

Pero este 'C' adquiere sentido en el contexto de esta historia, la combustión/descomposición de la celulosa, unidad estructural de la madera. Por tanto es necesario otorgar más acontecimientos para enriquecer el evento y acompañar a los nuevos actores que van emergiendo, la energía. La docente pregunta por la función del fuego y Lorena explica lo que le pasa al carbono como actor principal de la historia de la maqueta, al cambiar este nombre por otro más 'técnico' (R → L) [línea 14 a, b].

Línea 14

- a *y a la hora de aplicarle el fuego, da energía, pero en este caso se*
 b *ha distribuido así, pero hay otras posibilidades, entonces...*

Concreta lo que sucede pero sin llegar a fijarse en el fenómeno real (R → L) [Línea 18a].

Línea 18

- a *Bien, se separan y van a salir carbonos.*

Llegados a este punto, la docente pregunta sobre los nuevos términos y a respuesta se refiere, de nuevo, a la maqueta. (L → R) [Líneas 21-23]

Línea 22

- a [1] *Digamos que los elementos estaban solos y lo que han hecho*
 b *es recolocarse con otros elementos... ¿no? (en espera de*

Línea 23

- a *afirmación)*

Línea 24

- a [M] *Muy bien*
 b [1] *No es que se hayan separado directamente, sino que se han*
 c *separado y recolocado*

En el episodio 4 [Líneas 24 a-29a]

Llegado este punto Lorena aclara que en la maqueta no se encuentran las 'fórmulas' pero sí la presencia de los elementos. La maqueta es un instrumento que tiene una potencialidad de interpretación que puede establecer diferencias de escalas pero también simbólico. Esta 'potencialidad' es la ofrecida a través de palabras que ayuden a interpretar la maqueta (L → R) [Línea 26 a, b].

Línea 26

- a [3] *Pero no eran fórmulas como H₂O, CO₂...pero sí había oxígeno*
 b *e hidrógeno... los elementos...*

Finalmente, el último episodio de nuestra historia es cerrado por la docente manifestando los límites de la maqueta, la insuficiencia para explicar con detalle la formación de los productos de la pirólisis, pero la idea central es que del conjunto inicial no puede salir otro material que no esté formado por los elementos carbono, hidrógeno e oxígeno y que las sustancias que se obtienen en la pirólisis no estaban previamente en la madera.

En la tabla 2 se presenta nuestro instrumento de análisis con los datos.

Para Lorena y su grupo es esencial especificar las partes que componen la maqueta para dar sentido al relato. El objetivo es dar a entender qué pasa con la madera, pero lo que ellos explican es lo que pasa en la maqueta.

'Los tránsitos' que realiza Lorena se representan en el esquema siguiente, que nos ayuda a comprender mejor su particular proceso de idealización (modelización) de la realidad, favorecido o mediado por los aportes de los otros participantes el grupo.

4.1.2 Síntesis de las explicaciones del foco (I)

Se aplicó este mismo análisis a las explicaciones de los otros cinco grupos, que habían construido diferentes maquetas para

Tabla 2. Instrumento para la recogida e interpretación de los datos.

<i>Paradigma/ Sentencias</i>	<i>Complemento que enriquece la explicación de la sentencia</i>	<i>Transición</i> L ↔ E ↔ R	<i>Interpretación</i>
Lo que tenemos aquí es a madera que (como...) es un conjunto de moléculas de H ₂ O, CO ₂ .. ¿vale?	La alumna anticipa la explicación y se equivoca, al no tener como referente a una familia de fenómenos	E → R	Emerge analogía, pero no entre fenómenos semejantes, sino entre 'separa' y las bolas que forman la maqueta
Cuando le aplicamos el fuego, que es energía ¿vale? Lo que pasa es que se calienta y al calentarse desprende agua	Está hablando de la maqueta, que relaciona con el experimento al hablar del agua, que se obtuvo en el laboratorio	R → E	Identifica, en la maqueta, lo que se obtiene al calentar la madera y que reconoció sin problemas
...y también se desprende el CO ₂ ... y tenemos como resultado también el carbono...	No se ha identificado el CO ₂ , para ella es sólo una palabra que probablemente relaciona con la combustión	R → L	Utiliza palabras que cree necesitar para dar contenido a la maqueta
y el carbono son las moléculas negras que es lo que nos queda como residuo... entonces el CO ₂ es el gas que se nos escapa por el aire... y tenemos el agua condensada en vapor	Ahora ha conectado con el experimento y necesita términos apropiados	E → L	Conoce el carbón y el agua e identifica los productos volátiles al CO ₂
¿Por qué está formado... por carbono e hidrógeno? ¿...también por oxígeno?	La docente ha provocado una nueva reflexión hacia los elementos	R → L	Es necesario que el grupo inicial de bolas permita la aparición de las sustancias y, para ello, han de representar a los elementos
Estará formado por carbono el hidrógeno... claro, la maqueta representa que (la madera) tiene estos átomos y todo esto.	La pregunta ¿Y si también sale alquitrán? induce a pensar en materiales a los que no se ha referido y que, por lo tanto, 'no están en la madera', según su explicación errónea y pone al grupo en situación de hacer una interpretación mejor	E → L	Una nueva palabra induce a buscar nuevas palabras con las que dar cuenta del experimento
Se separan y van quedando los carbonos	La pregunta sobre la acción del fuego debería centrar de nuevo la atención en el fenómeno, pero no es así	R → L	Los 'carbonos' no son el carbón, permiten 'idealizarlo' de momento es sólo un término
Digamos que los elementos estaban solos y lo que han hecho es recolocarse con otros elementos... no es que se hayan separado directamente, sino que se han separado y recolocado	La explicación sobre el mecanismo de aparición del carbón centra de nuevo la atención en la maqueta	L → R	Se empieza a captar que los productos obtenidos no estaban tal cual en la madera
Pero no eran fórmulas como H ₂ O, CO ₂ , pero sí que había hidrógeno y oxígeno... los elementos...	Calentar la madera ha producido un cambio en la manera de agruparse los elementos	L → R	En la madera hay elementos... no queda claro si forman parte de alguna sustancia, aunque sí que forman las fórmulas

explicar los mismos fenómenos. Los diagramas que las representan se muestran en la tabla 3.

Nuestros futuros maestros de Primaria nos presentan, a través de sus maquetas, un 'fenómeno representado' pero su éxito, en esta empresa, es desigual. En general, la vinculación con el experimento es débil, excepto en el caso de Juan.

En Paloma y Marta se identifican tensiones. Creemos que en el caso de Paloma el origen de esta tensión es que su maqueta contenía componentes de diferentes escalas (un árbol y humos, pertenecientes al mundo macro, que se tratan de representar desde el micro). Cuando se le pide dar cuenta de estos componentes en una misma escala (p.e. micro), es cuando comienzan los conflictos. La configuración de la maqueta posee una estructura que, ante las 'nuevas demandas' de la docente, no permite a Paloma expresar su pensamiento, com-

partir sus ideas, mediante un lenguaje adecuado. En el caso de Marta, las 'reglas de juego', que ya vienen incorporadas en la maqueta 3D que utiliza, genera tensiones sobre las cosas que puede o logra argumentar sobre el experimento desarrollado puesto que limita lo que ella probablemente hubiera querido decir.

4.2 Resumen global de las transiciones por alumnos en el Foco 2

Finalmente, mostramos los resultados del análisis de las cartas que escribieron estos mismos alumnos, ahora ya no como representantes de su grupo sino de manera individual. En las cartas los alumnos explicaron a un interlocutor que ellos escogían lo que habían hecho y cómo les había servido para comprender lo que es un cambio químico (tabla 4).

Caso	Lorena en G1	Juan en G2	Tomás en G3	Paloma en G4	María en G5	Marta en G6
Representación de la transición						
maqueta	Maqueta plastilina	Maqueta anillos de papel.	Maqueta modelos 3D	Maqueta plastilina	Maqueta palillos esferas de porespan	Maqueta modelos 3D

Tabla 3. Síntesis de las actuaciones de los casos en el foco maqueta.

Logramos identificar en Lorena los aspectos que resalta en su historia. La secuencia de análisis nos lleva a interpretar que Lorena establece vías entre el lenguaje químico empleado para explicar el mundo (carbonera) y el experimento llevado a cabo para que el fenómeno nos ‘narre’ su historia. No obstante las otras transiciones no son muy persistentes o no logramos acceder a ellas (1, 3, y 6).

En el caso de Juan la secuencia de análisis nos lleva a interpretar que para él es más atractivo hablar de otras cosas entre el lenguaje – representación y experimento –representación, más que dar a razón a la relación entre el lenguaje químico elaborado y la carbonera. En el caso de Tomás se observa que hay relaciones entre las dimensiones establecidas. No obstante 1 y 6 parecen mucho más claras que las restantes. En el caso de Paloma su texto está cargado de aspectos en los que relaciona la representación del lenguaje y el experimento en ese orden. No obstante, no queda claro que pasa a nivel de representación y la experiencia desarrollada en el texto. Para María a nivel de estructura es semejante al de de Paloma. No obstante se diferencia a nivel de relación entre lenguaje–representación. Ambos textos son muy ricos, pero diferentes entre sí. Finalmente, el caso de Marta es bastante particular. Pese a ser bastante escueto lo que logra escribir, al menos, en

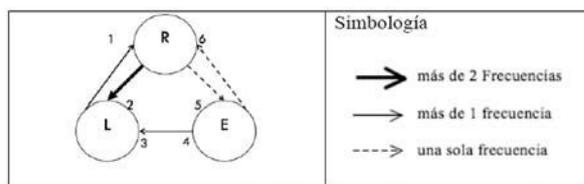


Figura 4. ‘Tránsitos’ de Lorena.

síntesis, da a entender las relaciones que logra establecer entre lenguaje – representación, aunque entre lenguaje – experimento es poco clara.

5. Conclusiones

El análisis de las explicaciones de los alumnos mediante sus maquetas o al escribir una carta a algún conocido nos ha permitido concretar mejor nuestras preguntas iniciales sobre el proceso de modelización en la escuela. Podemos avanzar algunas consideraciones respecto a la pertinencia del fenómeno escogido, a la función de la maqueta como factor material muy importante en el discurso en clase, a las relaciones entre lenguajes, representaciones e intervenciones experimentales y a las aportaciones de todo ello al proceso de modelización ‘según el cabio químico’.

Tabla 4. Síntesis de las actuaciones de los casos en el foco de narración.

Caso	Lorena	Juan	Tomás	Paloma	María	Marta
Representación de la transición						

a) En nuestra investigación nos hemos detenido en 'la pirólisis (carbonización) de la madera' y consideramos que ha sido una buena elección, puesto que es un fenómeno cotidiano pero que se confunde con la combustión, que requiere un control (para que no se queme) que está al alcance de los alumnos y permite que éstos intervengan en el proceso de manera autónoma. Desde el primer momento, el fenómeno, sin dejar de formar parte del mundo real, comienza un 'transito' hacia un mundo reconstruido por la química; se empiezan a adoptar las reglas, propiedades, eventos y objetos que forman parte de la actividad científica de 'idealizar' y construir 'hechos ejemplares'.

b) Valoramos de manera muy positiva el ambiente discursivo en clase, cuyo análisis proporciona sorpresas y abre perspectivas de análisis muy prometedoras. Hemos presentado aquí una pequeña parte de este análisis, en el cual llamamos 'lenguaje' a los términos, científicos o no, que se utilizan para denotar a los objetos/entidades que forman parte del sistema químico.

c) La construcción autónoma de una maqueta para representar sus ideas ha ayudado a los estudiantes a explicar los cambios en la madera, por más que también ha evidenciado sus errores. Vemos, en el caso de Lorena, que en un primer momento considera que las bolas de su maqueta representan a las sustancias que obtiene en la pirólisis por más que no era esto lo que pretendía el grupo al construirla.

d) Las maquetas no son el modelo, ni tampoco lo es cualquier otra representación que no encaje con la intervención en el experimento y con los términos científicos (con carga teórica, por lo tanto) que se utilizan. Hemos utilizado 'representación' y no 'modelo' cuando nos referimos al pensamiento abstracto de los alumnos, que se manifiesta cuando consideran las características que tiene en conjunto un determinado grupo de fenómenos. La maqueta puede considerarse también una representación mediante un determinado soporte material; pero también pueden serlo determinadas narraciones. Contrariamente a lo que puede parecer, las maquetas que peor han funcionado han sido las que utilizaban modelos de átomo tridimensional, que han bloqueado a los estudiantes al no poder atribuir una fórmula a la madera.

e) Nos parece prometedor haber podido identificar, en el discurso en clase, lo que hemos llamado 'transiciones L-E-R', que nos ilustran sobre el uso simultáneo de recursos cognitivos del ámbito del 'actuar, del comunicar y del representar para transitar desde la concreción de los fenómenos a la abstracción de estos mismos fenómenos al ser 'idealizados' o 'reconstruidos' gracias a la teoría química y mediante sus términos especializados. Hemos visto que conectar el lenguaje con el experimento, el experimento con la representación, la representación con el lenguaje, no es fácil. Ninguno de los alumnos lo consigue totalmente, pero el instrumento LER nos permite comparar los diferentes discursos y manipulaciones con la maqueta. En palabras de Sensevy *et al.* (2008) y Sensevy y Santini (2006), siguiendo a Cartwright (1999), hemos hecho funcionar una 'máquina nomológica' (una manera

de conceptualizar). Todo ello ha de permitir a los alumnos reconocer el Cambio Químico en un 'mundo real' que se contempla con criterios químicos.

f) No se dan todas las 'transiciones' que teóricamente podríamos 'ver' (y que consideramos necesarias para empezar a considerar que se ha producido 'modelización') por más que sí se aprecia que existen transiciones 'más completas' que otras. Si la actividad está mediatizada por la intervención del docente mediante las preguntas apropiadas se consiguen transiciones que, en caso contrario, estarían ausentes. Tal como es de esperar, al operar con la maqueta las relaciones que predominan son $R \rightarrow L$, mientras que al escribir las cartas son más importantes las relaciones $L \rightarrow E$. Esto nos muestra que conviene combinar correctamente las intervenciones docentes para dar ocasión a que se utilicen todas las transiciones.

g) Finalmente, y esto no parece importante, nuestra investigación nos permite concretar el significado que toman los términos modelo, hecho paradigmático y representación en nuestra propuesta de 'Química paso a paso'. Las relaciones entre pensar, experimentar y comunicar, impulsadas por el profesorado a partir de una determinada programación que reúne los fenómenos en grupos o campos estructurantes, permiten reconstruir alguno de estos 'hechos del mundo' según la teoría química. Este 'hecho' pasa a ser un Hecho Ejemplar o Paradigmático; todos los que se puedan construir en clase van a ser 'Modelos de la Teoría Química (aprendida)'. Finalmente, lo que llamamos "Modelo Cambio Químico Escolar" nos proporciona un hilo conductor para desarrollar un currículo centrado en los ejemplos paradigmáticos de Cambio Químico.

Referencias

- Andersson, B. Pupils' conception of matter and its transformation (age 12-16). In: Lijse, P., Licht, P., de Vos, W. y Waarlo, A (eds.) *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles: A central problem in secondary science education* (pp. 12-35) CD-β Press: Utrecht, 1990.
- Adúriz-Bravo, A., & Izquierdo, M. Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales, *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, **4**, 40-49, 2009.
- Bliss, J., Monk, M., & Orgborn, J., *Exploratory Qualitative Analysis for Educational Research*. London: Croom Helm, 1983.
- Bulte, A., Westbroek, H., de Jong, O., & Pilot, A., Research Approach to Designing Chemistry Education using Authentic Practices as Context, *International Journal of Science Education*, **28**, 1063-1086, 2006.
- Cartwright, N., *The dappled world: a study of the boundaries of sciences*. Cambridge: England, 1999.
- Coll, C., Onrubia, J. y Mauri, T., Ayudar a aprender en contextos educativos: el ejercicio de la influencia educativa y el análisis de la enseñanza, *Revista de Educación*, **346**, 33-70, 2008.
- Espinete, M., Izquierdo, M., Bonil, J., & Ramos, L., The role of language in modeling the natural world: perspectives in science education. In: B. Fraser, K. Tobin, & C. McRobbie

- (eds.), *Second International Handbook of Science Education*. New York: Springer, 2010.
- Giere, R. N. *Explaining Science*. Princeton University Press: Princeton, 1988.
- Gilbert, J., de Jong, O., Justi, R., Treagust, D. F., & Van Driel, J., *Chemical education: Towards research-based practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- Guidoni, P., On natural thinking, *European Journal Science Education*, **7**, 133-140, 1985.
- Izquierdo, M., Cognitive Models of Science and the teaching of science, history of sciences and curriculum. *European Research in Science Education II*, 106-117, 1995.
- Izquierdo, M., Espinet, M., García, M. P., Pujol, R. M., and Sanmartí, N., Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar, *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 79-92, 1999a.
- Izquierdo, M., Sanmartí, N., and Espinet, M., Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales, *Enseñanza de las Ciencias*, **17**, 45-59, 1999b.
- Izquierdo, M. and Adúriz-Bravo, A., Epistemological Foundations of School Science, *Science & Education*, **12**, 27-43, 2003.
- Izquierdo, M., Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: contextualizar y modelizar, *Journal of the Argentine Chemical Society*, **92**, 115-136, 2004.
- Izquierdo, M. and Adúriz-Bravo, A., Los modelos teóricos para la ciencia escolar. Un ejemplo de química, *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 2005.
- Izquierdo, M., La educación química frente a los retos del tercer milenio, *Educ. quím.*, **17(X)**, 114-128, 2006.
- Izquierdo, M., & Merino, C. Los modelos en la enseñanza de la química. En: *VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias* (pp. 3489-3491). Barcelona, 2009.
- Méheut, M., y Psillos, D., Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research, *International Journal of Science Education*, **26**, 515-535, 2004.
- Merino, C., *Aportes a la Caracterización del Modelo Cambio Químico Escolar*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona, 2009.
- Merino, C. et al., Un enfoque 'modelizador' para la enseñanza de una 'química básica para todos'. *Actas 22 Encuentros en Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Septiembre, Zaragoza, 2006.
- Merino, C. et al. Las reglas de juego en el tratamiento del descomponer y el quemar. *Actas 23 Encuentros en Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Septiembre, Almería, 2008.
- Merino, C. et al., Los modelos en la enseñanza de la química, *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias. Septiembre, Barcelona, 2009.
- Mortimer, E. Conceptual change or conceptual profile change? *Science and Education*, **4**, 267-285, 1995.
- Prins, G. T., Bulte, A. M. W., van Driel, J. H., & Pilot, A., Selection of Authentic Modelling Practices as Contexts for Chemistry Education, *International Journal of Science Education*, **30**, 1867-1890, 2008.
- Reigeluth, C., Lesson blueprints based upon the elaboration theory of instruction. In: C. Reigeluth (ed.), *Instructional Design Theories in Action*. Hillsdale, NJ: Erlbaum Associates, 1987.
- Reigeluth, C., Elaborating the elaboration theory, *Educational Technology Research & Development*, **40(3)**, 80-86, 1992.
- Sanmartí, N. y Izquierdo, M., Reflexiones en torno a una ciencia escolar, *Investigación en la Escuela*, **32**, 51-62, 1997.
- Sanmartí, N., *Didáctica de las Ciencias en la ESO*. Madrid: Síntesis, 2002.
- Sensevy, G., Tiberghien, A., Santini, J., Laubé, S. y Griggs, P., An epistemological approach to modeling: Cases studies and implications for science teaching, *Science Education*, **92**, 424-446, 2008.
- Sensevy, G. y Santini, J. Modelisation: Un approche épistémologique, *Aster*, **43**, 163-188, 2006.
- Shulman, L. S., Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching, *Educational Researcher*, **15(2)**, 4-14, 1986.
- Taber, K., Beyond Constructivism: the Progressive Research Programme into Learning Science, *Studies in Science Education*, **42(1)**, 125-184, 2006.