

Estudio sobre la evolución de los modelos mentales de estudiantes de 4º de ESO cuando observan, reflexionan y discuten sobre la combustión

Vanessa Sesto ^{1,a}, Isabel García-Rodeja ^{1,b}

¹Departamento de Didácticas Aplicadas, Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela. España.

^avanessa.sesto@usc.es, ^bisabel.garcia-rodeja@usc.es

[Recibido en noviembre de 2016, aceptado en junio de 2017]

El propósito de este estudio fue analizar la evolución de los modelos mentales de estudiantes de secundaria sobre fenómenos que implican cambios en la materia al tener la oportunidad de observar, reflexionar y discutir sobre ellos. En trabajos anteriores ya se han identificado los modelos de los estudiantes sobre esta temática; sin embargo, aún se tiene poco conocimiento de cómo esos modelos evolucionan con la interacción social. Para alcanzar este objetivo se propuso como actividad la combustión de una vela dentro de un recipiente de cristal. Los participantes eran ocho estudiantes de 4º de ESO. La recogida de datos se realizó por medio de cuestionarios y grabaciones en audio y vídeo al realizar la actividad en pequeño grupo. Los resultados muestran una cierta evolución en los modelos. Al principio, los estudiantes utilizan los modelos de desaparición y transmutación. Después de la discusión, algunos estudiantes ya utilizan el modelo de reacción química.

Palabras clave: Modelos de los estudiantes; Transformación de la materia; Discusión; Combustión.

Study on the evolution of 10th grade students' mental models when they observe, reflect and discuss about the combustion

The purpose of this study was to analyze the development of secondary students' mental models about phenomena involving changes in matter having the opportunity to observe, reflect and discuss them. Previous works have already identified students' models about this subject; however, there is still little knowledge of how these models evolve with social interaction. To achieve this goal, the combustion of a candle inside a glass vessel was proposed as an activity. The participants were eight students of 10th grade. Data were collected by questionnaires and recordings on audio and video while the activity was performed in small group. The results show certain development of the models. At first, students use the disappearance model and the transmutation model. After discussion, some students already use the chemical reaction model.

Keywords: Students' models; Transformation of matter; Discussion; Burning.

Para citar este artículo: Sesto V., García-Rodeja I. (2017) Estudio sobre la evolución de los modelos mentales de estudiantes de 4º de ESO cuando observan, reflexionan y discuten sobre la combustión. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14 (3), 521-534. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/19505>

Introducción

Aikenhead (1996) describe el aprendizaje de las ciencias como la inmersión dentro de una determinada cultura. Desde esta perspectiva social del aprendizaje, otros autores (Driver, Asoko, Leach, Mortimer y Scott 1994, Lemke 1990), contemplan el proceso de construcción de conocimiento como la enculturación del alumnado en el discurso científico en el aula, de ahí la importancia de la participación de los estudiantes en prácticas discursivas, en las que se les dé la oportunidad de proponer y discutir ideas, y evaluar y elegir entre explicaciones alternativas (Jiménez y Díaz, 2003).

Por otro lado, Ogborn, Kress y Martins (1998) consideran que para que los estudiantes participen en el razonamiento científico se deben introducir fenómenos familiares en el

contexto de la vida real dentro de una diferente estructura, en este caso una estructura basada en las teorías y métodos de la ciencia.

En este trabajo se implementa una actividad donde el alumnado tiene la posibilidad de participar en prácticas discursivas al interpretar un fenómeno familiar, en concreto la combustión de una vela, con el propósito de evaluar qué modelos mentales activan los estudiantes y cómo se modifican al darles la oportunidad de observar, predecir, explicar y discutir lo que ocurre cuando una vela se tapa con un recipiente de cristal. La modelización, entendida como el proceso de construcción, uso y revisión de modelos fundamental para que los estudiantes aprendan ciencias (Gilbert y Justi 2016, Justi 2009), exige transitar entre el pensamiento científico y el pensamiento cotidiano que el alumnado tiende a aplicar a los fenómenos del mundo real (Merino e Izquierdo 2011).

La interpretación de lo que ocurre en la combustión de una vela está íntimamente relacionada con el concepto de materia. Este concepto es esencial para comprender diversos fenómenos científicos como la fotosíntesis, el ciclo del agua, o el cambio climático, de ahí que se considere un concepto clave (Hadenfeldt, Neumann, Bernholt, Liu y Parchmann 2016, NRC, 2012), y de ahí también que haya ocupado un papel central en la investigación en didáctica de las ciencias (ver p. ej., Kermen y Meheut 2011, Meheut, Saltiel y Tiberghien 1985, Merrit, Krajcik y Shwartz 2008, Sanmartí, Izquierdo y Watson 1995, Watson, Prieto y Dillon 1997, Yan y Talanquer 2015).

A pesar de la gran cantidad de estudios sobre diferentes aspectos de la enseñanza y el aprendizaje de la materia y sus transformaciones, y en concreto sobre los modelos de los estudiantes, la pertinencia de este trabajo se debe a que no se limita exclusivamente a detectar los modelos sobre el cambio químico que exhiben los estudiantes, sino que además describe cómo la observación, la reflexión y la discusión acerca de los fenómenos pueden repercutir en la evolución hacia modelos más apropiados desde el punto de vista de la ciencia escolar. Así, las preguntas que nos planteamos en esta investigación son:

- ¿Qué modelos mentales emplean los estudiantes para predecir y explicar fenómenos relacionados con la combustión de una vela?
- ¿En qué medida la observación, la reflexión y la discusión sobre los fenómenos de combustión contribuyen a una evolución de los modelos mentales iniciales de los estudiantes?

Marco teórico

Como marco teórico de este trabajo desarrollamos algunos aspectos sobre modelos mentales y sobre la interpretación de los cambios químicos que son relevantes para esta investigación.

Modelos mentales

Gilbert, Boulter y Elmer (2000) consideran un modelo mental como una representación de un fenómeno producida para un propósito específico. Según Greca y Moreira (2000), la finalidad de estas representaciones privadas y personales es explicar, predecir y describir fenómenos del mundo que rodea a los individuos, y son el resultado de la interacción social de los sujetos, su percepción o sus experiencias personales.

Los modelos mentales se caracterizan por ser incompletos, inestables y no científicos, pues reflejan las creencias del individuo sobre el sistema representado (Greca y Moreira 2000). Otra característica importante de los modelos mentales es la recursividad (Johnson-Laird 1983), es decir, se trata de representaciones dinámicas que pueden ser ampliadas o mejoradas a medida

que se va incorporando nueva información. Desde esta perspectiva de cambio basada en los modelos mentales, Márquez, Pujol y Bonil (2005) señalan que el aprendizaje de las ciencias se entiende como un proceso de construcción en el que los modelos de los estudiantes, alejados de los modelos de la ciencia escolar, se van modificando a partir de nuevas experiencias, nueva información y, en especial, a través de la discusión. En el aula, la construcción y reconstrucción de los modelos mentales se entiende como un proceso de construcción social donde las interacciones entre estudiantes, y entre estudiantes y profesores, juegan un importante papel, de ahí que sea interesante analizar el discurso de los estudiantes al implicarse en tareas donde ponen a prueba sus modelos a la hora de interpretar diferentes fenómenos (Vázquez y García-Rodeja 2005, Garrido 2016). De hecho, la introducción de nuevas ideas por parte del profesorado y la discusión entre pares en un ambiente de confianza que permita a los alumnos expresarse libremente sin miedo a que sus respuestas sean penalizadas, constituyen mecanismos altamente eficaces para lograr una evolución en los modelos de los alumnos (Garrido 2016).

Interpretación de los cambios químicos

En la Tabla 1 se describen algunas investigaciones relevantes para este trabajo acerca de las ideas y los modelos de los estudiantes sobre la materia y sus transformaciones, prestando un especial interés al fenómeno de combustión.

Andersson (1990), en una revisión de los trabajos publicados hasta los años 90 sobre la interpretación de los cambios químicos, categorizó la forma de pensar de los estudiantes en cinco modelos. La clasificación que propuso este autor incluye las siguientes concepciones sobre las transformaciones químicas: desaparición de compuestos, desplazamiento, modificación, transmutación e interacción química. Más recientemente, Hadenfeldt, Liu y Neumann (2014) hicieron otra revisión de los artículos publicados entre 2003 y 2012 en los que se sugiere que los estudiantes desarrollan una comprensión de la materia a través del aprendizaje sobre cuatro aspectos fundamentales: 1) estructura y composición, 2) propiedades físicas y cambios, 3) propiedades químicas y cambios, y 4) conservación. Para cada una de estas dimensiones, Hadenfeldt *et al.* (2014) propusieron un esquema general de cinco niveles ordenados jerárquicamente que permite describir la progresión en la comprensión de los estudiantes sobre cada aspecto de la materia.

En el caso concreto de las reacciones de combustión, Meheut *et al.* (1985) y BouJaoude (1991) concluyeron que los modelos que los estudiantes aplican al interpretar este tipo de reacciones difieren dependiendo del material combustible. Meheut *et al.* (1985) describieron cómo los estudiantes aplican un modelo diferente al hacer referencia a la cera y a metales, de los que dicen que se funden o se evaporan y, sin embargo, al referirse a la madera, al cartón o al papel señalan que se queman transformándose en otras sustancias o en nada. BouJaoude (1991) encontró que los estudiantes modelizan la combustión del alcohol como una evaporación, la combustión de la madera como un cambio a cenizas y la combustión de una vela como una fusión. Prieto, Watson y Dillon (1992) señalaron que esta inconsistencia en las interpretaciones se debe a que el alumnado está comenzando a reconstruir sus propios modelos en busca de un mayor poder explicativo.

Otros autores como Castillejo, Prieto y Blanco (2005) observaron que a medida que aumenta la edad y el nivel de instrucción de los participantes, es menos frecuente el uso de los modelos de transmutación y modificación para interpretar las reacciones de combustión, a favor de otros modelos más próximos al de la ciencia escolar.

Como se puede observar en la Tabla 1, en la mayor parte de los trabajos realizados hasta el momento, la recogida de datos se realizó por medio de cuestionarios y/o entrevistas

individuales. En este trabajo, para ahondar en cómo los modelos mentales de los estudiantes evolucionan a través de la interacción social, se describe el discurso de los estudiantes en tareas que realizan de forma individual (cuestionarios) y en pequeño grupo, y su relación con los modelos que activan.

Tabla 1. Investigaciones previas acerca de la comprensión de los estudiantes sobre las reacciones de combustión.

Autor	Año	Participantes	Edades (años)	Método	Algunos resultados
Meheut <i>et al.</i>	1985	400	11-12	Cuestionarios y entrevistas individuales.	Describieron dos modelos de combustión en función de la naturaleza del material combustible.
BouJaoude	1991	20	13-14	Entrevista sobre sucesos por parejas.	Señalaron que la comprensión de diferentes situaciones de combustión era fragmentada, inconsistente y dependiente del contexto.
Prieto <i>et al</i>	1992	300	14-15	Cuestionario de preguntas abiertas individual.	Incorporaron nuevas ideas en las categorías de modificación y transmutación de Andersson (1990) aplicadas a fenómenos de combustión.
Watson <i>et al.</i>	1997	150	14-15	Cuestionario de preguntas abiertas individual.	Encontraron que la inconsistencia en las explicaciones de los estudiantes sobre combustión podía ser un indicador de cambio conceptual.
Gabel, Monaghan, MaKinster y Stockton	2001	34	8-13	Cuestionario de opción múltiple individual y entrevista.	Encontraron que la mayoría de los estudiantes no comprendían que la cera es el combustible primario en una vela.
Castillejo <i>et al.</i>	2005	507	13-18	Cuestionario de preguntas abiertas individual.	Observaron que de ESO a Bachillerato, la proporción de estudiantes que manifestaban alta comprensión de fenómenos de combustión aumentaba un 14%.
Löfgren y Helldén	2008	23	7-13	Entrevistas individuales.	Encontraron que las explicaciones de la mayoría de los estudiantes (7-9 años) sobre la combustión de una vela incluían que la cera se acaba o se funde. En edades superiores consideraban que la cera pasa al aire como humo, gas o vapor.
Chang, Lee y Yen	2010	228	9-12	Cuestionario y entrevistas.	Encontraron que un 30,1% de los participantes creían que los reactantes desaparecían tras arder.

Metodología

El enfoque metodológico empleado en este trabajo se caracteriza por ser de tipo cualitativo y constituye un estudio de caso. Este enfoque permite investigar un fenómeno en su contexto real (Yin 2003) y profundiza en el conocimiento de un determinado fenómeno a través de un estudio intensivo de un grupo reducido de estudiantes (Taylor y Bogdan 1994).

Participantes y contexto de la investigación

En esta investigación participaron ocho estudiantes, siete mujeres y un hombre, de 4º de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) que cursaban la materia de Física y Química. Su

rendimiento académico puede ser calificado de medio-alto y su participación en la actividad, de carácter extraordinario dentro de la asignatura, fue voluntaria.

Con el fin de facilitar la toma y posterior análisis de datos, los participantes se distribuyeron en tres grupos, siéndole asignado a cada uno una letra desde la A hasta la C. Para garantizar el anonimato de todos los participantes se emplearon seudónimos en lugar de su nombre real, respetando únicamente el género. Este nombre ficticio comienza por la letra del grupo de trabajo al que pertenecían durante la realización de la actividad: grupo A (Ana, Andrea, Alicia), grupo B (Bernardo y Belén) y grupo C (Cristina, Carla y Cecilia).

La actividad se implementó en el segundo trimestre del curso escolar. En ese momento, en la asignatura de Física y Química estaban tratando contenidos relativos a los cambios químicos, como la estequiometría de una reacción y su mecanismo desde el punto de vista de la teoría de colisiones. La experiencia se desarrolló en el laboratorio de Física del centro en el que, además de los participantes, estuvieron presentes una de las investigadoras y la profesora de la asignatura. El papel de ambas se limitó a estimular las intervenciones de los estudiantes.

Descripción de la tarea

El tiempo asignado a la realización de la tarea fue de 30 minutos. El protocolo de actuación se describe a continuación. En primer lugar, se indicó a los estudiantes que se iba a tapar una vela encendida con un vaso y se les pidió que escribiesen en el cuestionario lo que creían que iba a ocurrir, dando una explicación a su predicción. Pese a estar distribuidos en pequeños grupos, los estudiantes debían cubrir el cuestionario individualmente con la respuesta que considerasen más adecuada. Una vez completado el primer ítem del cuestionario, el alumnado procedió a la ejecución del experimento, y se les solicitó que apuntasen en el segundo ítem lo que observaban. Por último, se les pidió que apuntasen en el tercer ítem una explicación para lo ocurrido. En cada ítem, los estudiantes primero debían registrar por escrito sus respuestas y luego tenían la oportunidad de discutir sus interpretaciones en pequeño grupo.

Obtención de datos

En este trabajo se distinguen dos fuentes de datos, las producciones escritas de los estudiantes y las transcripciones de las conversaciones. Para la recogida de las producciones escritas, se diseñó un cuestionario (Figura 1) empleando una estrategia didáctica desarrollada por White y Gunstone (1992) que se conoce como POE (Predicción, Observación, Explicación).

Además, los distintos grupos fueron grabados en audio, para registrar las discusiones entre el alumnado; y en vídeo, empleado como un apoyo para identificar la participación de cada estudiante en las conversaciones cuando no fuera posible hacerlo a partir del audio. Las grabaciones en audio y vídeo son una técnica de recogida de datos que se utiliza con frecuencia en estudios de corte cualitativo (ver p. ej., Löfgren y Helldén 2008).

Ánalisis de datos

Para el análisis de datos, se adaptaron los modelos descritos en la literatura (Andersson 1990, Watson *et al.* 1997) teniendo en cuenta las ideas clave que fueron surgiendo en interacción con los datos en un análisis iterativo. Una vez identificados los modelos y con el fin de disponer de una herramienta con la que valorar su evolución, se relacionaron los modelos (Andersson 1990, Watson *et al.* 1997) con tres de los niveles de progresión de Hadenfeldt *et al.* (2014). Estos niveles (Tabla 2), por orden creciente, describen la evolución de la comprensión de los estudiantes acerca de los cambios químicos. Los modelos asociados a cada nivel se ilustran con respuestas descritas en trabajos previos. En el apartado de resultados se presentan ejemplos concretos de las respuestas de los estudiantes en este estudio. En el trabajo de

Hadenfeldt *et al.* (2014) se hace referencia a dos niveles más, pero no se incorporaron al instrumento de análisis por tratarse de niveles de un orden de sofisticación superior.



The illustration shows a hand holding a clear cylindrical glass over a lit candle. The candle is in a small green dish. The glass is inverted over the candle, and the flame is visible through the glass. The background is a simple brown surface.

Predicción: ¿Qué crees que sucederá cuando una vela encendida se cubre con un recipiente? ¿Por qué crees que ocurrirá?

Observación: Anota lo que observas cuando la vela se cubre.

Explicación: Explica por qué crees que ocurre lo que has observado.

Figura 1. Cuestionario empleado como instrumento para la recogida de datos.

Las transcripciones son literales para conservar la esencia del discurso, y se han analizado tomando como referencia el análisis efectuado por Hadenfeldt *et al.* (2016). En primer lugar se dividieron las transcripciones en fragmentos con significado coherente, y luego se agruparon esos fragmentos en tres categorías: a) fragmentos donde los estudiantes hablan de temas o desenvuelven acciones no relacionadas con la tarea; b) fragmentos relativos al cuestionario (p. ej. lectura de los ítems en voz alta); y c) fragmentos en los que los participantes discuten acerca de la interpretación del fenómeno. Los fragmentos del discurso transcritos agrupados en esta última categoría fueron los seleccionados como eventos más significativos.

Para dar fiabilidad y validez a estudios interpretativos como el que se presenta en este artículo, se ha recurrido a una triangulación tanto de datos como de investigadores (Moreira 2002). La triangulación de datos hace referencia a la confrontación de diferentes fuentes de datos del estudio, en este caso los datos recogidos mediante cuestionarios y las grabaciones de audio y vídeo. En relación a la triangulación de investigadores, tanto las categorías de análisis, como la

inclusión de respuestas dentro de cada categoría fueron contrastadas, discutidas y analizadas por ambas investigadoras.

Tabla 2. Niveles de progresión en la interpretación de los cambios químicos y modelos asociados a cada nivel.

Niveles de progresión descritos por Hadenfeldt <i>et al.</i> (2014)	Modelos para el cambio químico adaptados de Andersson (1990) y Watson <i>et al.</i> (1997)	Ejemplos
Nivel 1. Los estudiantes no tienen un modelo apropiado para describir Desaparición. A nivel macroscópico, o reconocer reacciones químicas las sustancias desaparecen o a nivel científicamente. Describen lo que microscópico, los átomos desaparecen. observan.	Desaparición. A nivel macroscópico, la sustancia es la misma pero cambia alguna de sus propiedades como el estado físico. No reconocen el papel del oxígeno en el cambio. A nivel microscópico, los átomos cambian de tamaño, color, etc.	«Cuando arde creo que no se vuelve vapor, pero se evapora de algún modo y luego desaparece» (Löfgren y Helldén 2008)
Nivel 2. Los estudiantes reconocen las reacciones químicas mediante la aparición de una nueva sustancia con propiedades distintas a las de los reactivos. Son frecuentes las concepciones alternativas que consideran que los reactivos se han transformado en energía, o que los reactantes todavía están presentes al concluir la reacción, habiéndose modificado únicamente sus propiedades.	Modificación. A nivel macroscópico, la sustancia es la misma pero cambia alguna de sus propiedades como el estado físico. No reconocen el papel del oxígeno en el cambio. A nivel microscópico, los átomos cambian de tamaño, color, etc.	«Se funde y se seca de nuevo» (Löfgren y Helldén 2008)
Nivel 3. Los estudiantes describen la reacción química como reorganización de partículas. Sin embargo, no tienen un modelo que les permita describir el proceso.	Transmutación. A nivel macroscópico, la sustancia se transforma en otra sustancia diferente, en calor o en llama. La masa no se conserva. A nivel microscópico, un átomo se transforma en otro átomo nuevo.	«La llama se ha extinguido por la falta de oxígeno» (Watson <i>et al.</i> 1997) «Lo que entiendo por combustión es cuando un material es capaz de producir calor con otro material que le ayuda a producir la llama» (Watson <i>et al.</i> 1997) «Se descompone y se convierte en cenizas» (Watson <i>et al.</i> 1997)
	Reacción química. A nivel macroscópico, tiene lugar una interacción entre el reactivo o reactivos formándose un nuevo producto o productos. A nivel microscópico, tiene lugar una redistribución de los átomos o iones, formándose otras estructuras distintas (Raviolo, Garritz y Sosa 2011).	«Se obtienen cenizas que son el resultado de una reacción química entre la madera y el fuego» (Watson <i>et al.</i> 1997).

Resultados y discusión

En la descripción de los resultados se analizan las respuestas escritas a cada pregunta del cuestionario (predicción, observación y explicación). Además, se analizan aquellos eventos de interés de las discusiones. En las transcripciones de las conversaciones, para designar las intervenciones de la investigadora se emplea la inicial I.

Predicción

En la primera pregunta del cuestionario, se solicitó a los estudiantes que apuntasen lo que creían que sucedería al cubrir una vela encendida con un recipiente. Todos escribieron que la vela se iba a apagar.

Con la siguiente cuestión *¿Por qué crees que ocurrirá eso?* se pretendía que los estudiantes justificasen la respuesta anterior. Al contestar a esta pregunta dos estudiantes dan respuestas que consideramos que son indicadoras de que están activando un modelo de desaparición (las sustancias desaparecen o se transforman en nada) y seis estudiantes dan respuestas que consideramos que son indicadoras de que están activando un modelo de transmutación (las sustancias se convierten en otras substancias, en calor, en llama o en energía).

Los estudiantes que activaron el modelo de desaparición, correspondiente al nivel de progresión más bajo, hicieron alusión a que el oxígeno desaparecía como si pasase a formar parte de la nada, dando respuestas semejantes a las que Watson *et al.* (1997) incluían en este modelo. En el siguiente párrafo se transcribe la respuesta de una estudiante.

«Se va apagando. Porque el oxígeno se va consumiendo y cuando todo el oxígeno desaparece, la vela se apaga» (Alicia).

Dentro del modelo de transmutación, la idea que mencionaron con más frecuencia en sus respuestas escritas fue la del oxígeno como alimento para la llama. Estas respuestas se incluyeron en el modelo de transmutación pues se interpreta como una transformación del oxígeno en llama (Watson *et al.* 1997). Los estudiantes interpretaron la presencia del oxígeno como necesaria para producir la combustión, pero no hicieron referencia a la interacción química del combustible con el oxígeno del aire. Como ejemplo de respuesta que incluimos en este modelo está la de Andrea:

«Se apaga. Porque la vela se alimenta de oxígeno, y cuando se consume todo, se apagará» (Andrea).

La discusión posterior al cumplimentado de este primer ítem del cuestionario fue mínima, procediendo inmediatamente a cubrir la vela con el recipiente.

Observación

Una vez observado el fenómeno, todos los estudiantes registraron en los cuestionarios que la vela se apagaba al cabo de un cierto tiempo (Tabla 3). A continuación se reproduce la respuesta de una estudiante.

«Se mantiene encendida hasta que poco a poco se hace más pequeña la llama y finalmente se apaga» (Andrea).

Tabla 3. Frecuencia de estudiantes que registran cada observación en los cuestionarios en la combustión de una vela.

Observación	Estudiantes	Frecuencia (N=8)
La vela se apaga.	Ana, Alicia, Andrea, Bernardo, Belén, Carla, Cristina, Cecilia.	8
El recipiente que cubre la vela se empaña.	Ana, Bernardo, Belén.	3

Solamente tres de los ocho participantes registraron como observación que el recipiente que cubría la vela se empañaba. Esto puede deberse a que los estudiantes tienden a fijarse en los aspectos que esperan que sucedan, pasando desapercibidos sucesos que quedan fuera de sus expectativas. A modo de ejemplo en donde sí se registra la condensación de agua en el cristal se transcribe la respuesta de una estudiante.

«Que se apaga pasado un cierto tiempo y la parte de arriba se empaña» (Ana).

En este caso, los participantes tampoco se implicaron en una discusión activa sobre las observaciones efectuadas.

Explicación

Después de realizar las observaciones, se les pidió que explicasen lo ocurrido. Respecto a las explicaciones que los estudiantes incluyeron en los cuestionarios, la mayoría continuó situándose en el modelo de transmutación. La respuesta de Ana es un ejemplo de lo que decimos.

«Que la llama se alimenta de oxígeno y cuando este se acaba se apaga» (Ana).

Otra estudiante, Belén, incorporó una nueva idea al modelo de transmutación haciendo referencia a que una sustancia se transforma en otra, en este caso el oxígeno en dióxido de carbono, escribiendo lo siguiente:

«Ocurre lo que he observado dado que la llama produce la combustión del O₂ que se encuentra dentro del vaso, convirtiéndose en CO₂ y haciendo que la llama pierda el medio necesario para seguir encendida» (Belén).

La discusión que cada uno de los grupos mantuvo durante el cumplimentado de este ítem del cuestionario también fue limitada. Las estudiantes del grupo A apenas discutieron sobre lo observado, proporcionando en el cuestionario respuestas similares a las incluidas en la fase de predicción. En varias ocasiones, durante la discusión que mantuvieron los estudiantes del grupo B, Belén creó una diferencia (Ogborn *et al.* 1998) al insistir en la idea de que el O₂ se transforma en CO₂ como se muestra en el siguiente extracto de la transcripción:

- Belén: « [...] Todo esto ocurre porque el oxígeno que está dentro del vaso, al estar cerrado, la llama lo que hace es extinguirse, es decir, que no haya combustión, y al transformarse el O₂ en CO₂ la llama pierde así el medio por el cual pueda seguir encendida y es lo que hace que se apague».

Sin embargo, esta discusión en el grupo B tampoco se prolongó demasiado, pues según su criterio prácticamente ya estaba todo dicho:

- Belén: «Explicación. Explica por qué crees que ocurre lo que has observado. ¿No lo hemos explicado ya antes?».
- Bernardo: «Sí. Somos demasiado listos para esta práctica».

Las estudiantes del grupo C mostraron una implicación muy baja, invirtiendo gran parte del tiempo en conversaciones ajenas a la tarea.

Los participantes se resistieron a discutir de forma espontánea debido, probablemente, a que era la primera vez que se enfrentaban a una actividad tipo POE. Por esta razón, la interacción social se tuvo que ver fomentada mediante la intervención de la investigadora, quien, a través de varias preguntas, animó a los estudiantes a expresar sus ideas. Así, fueron saliendo a la luz nuevos modelos. Cuatro de los ocho participantes, Andrea, Belén, Carla y Cristina, modificaron el modelo de transmutación por dos modelos para el cambio químico diferentes en función del material de la vela en el que focalizaran su atención. Si atendían a la cera, de la que percibían que simplemente se fundía, aplicaban el modelo de modificación. Si se fijaban en la mecha, de la que observaban que ardía, utilizaban el modelo de reacción química.

Se observa que cuando los estudiantes aplican el modelo de modificación a la cera, el fuego es interpretado como un agente responsable del cambio de estado de la sustancia. Además, cuando los estudiantes utilizan el modelo de reacción química para interpretar lo que le ocurre a la mecha, no existen evidencias de que interpreten el fenómeno en términos de una reorganización de partículas. Estas interpretaciones del fenómeno son semejantes a las recogidas en otros trabajos como el de Meheut *et al.* (1985), quienes encontraron que el 25%

de los estudiantes (11-12 años) participantes en su estudio describían el cambio que se produce en la combustión de una vela como una «fusión».

La utilización de dos modelos distintos en función del material de la vela se plasmó en diálogos como el siguiente:

- I: «¿Cómo era el cambio, físico, químico...? ¿Cómo era?»
- Andrea: «Físico y químico, los dos».
- I: «A ver, explica por qué. Explica por qué es de las dos formas».
- Andrea: «Porque la vela se derrite... es decir, después vuelve a solidificar igual, entonces ese es físico. Y químico porque la llama, es decir, el hilo, hace combustión».

A través de la interacción con los compañeros fomentada por los retos cognitivos que presentaban para los estudiantes las preguntas de la investigadora, se empezaron a generar más diferencias. Bernardo, ante una pregunta de la investigadora sobre lo que marcaría una balanza si sobre ella se colocase una vela ardiendo, introdujo una nueva idea al interpretar que el combustible es la cera y no la mecha:

- I: «Si la vela la colocáis en una balanza, ¿sí? Y después le prendéis fuego, al cabo de cierto tiempo, ¿qué creéis que marcará la balanza? ¿Lo mismo, más o menos?»
- Bernardo: «Quizás un poco menos porque creo que la combustión hará perder un poco de... de lo que es la cera».

A los estudiantes que habían manifestado durante la discusión la idea de que lo único que arde en una vela es la mecha, la investigadora les preguntó por la función que desempeñaba la cera. Ante esta cuestión hubo diversidad de opiniones. Una estudiante del grupo A y otra del grupo B, Ana y Belén, señalaron que la función de la cera era la de retardar la combustión del hilo:

- Belén: «[...] La cera lo que haría sería que se ralentice, es decir,...»
- I: «¿Que vaya más lento?».
- Belén: «Claro. La cera en sí lo que está haciendo es ralenti... ralen...».
- Bernardo: «Ralentizar».
- Belén: «Ralentizar. Vale. Es que no me sale la palabra ralentiz... el... a ver, tú tienes la mecha. La mecha en sí, si tú le prendes fuego se quema más rápido. Pero si lleva cera lo que hace es que vaya más lento»

Sin embargo, una estudiante del grupo C, Carla, ante la misma pregunta, señaló que la cera actuaba como un simple soporte.

- I: «¿Entonces la cera que sería en este caso? ¿Qué función tendría?»
- Carla: «Aislante».
- I: «¿Aislante? ¿Aislante cómo?».
- Carla: «Pues para aguantarlo, ¿no?».

Estas respuestas son semejantes a las recogidas en otros trabajos (BouJaoude 1991, Gabel *et al.* 2001, Löfgren y Helldén 2008, Watson *et al.* 1997), en donde se muestran las dificultades de los estudiantes para identificar la cera como combustible.

Por otra parte y como ya se ha mencionado, aunque solamente tres estudiantes habían registrado en el cuestionario la observación de que el recipiente se empañaba, cuando en la discusión la investigadora les preguntó por las observaciones efectuadas durante el transcurso del fenómeno, todos confirmaron haber visto el vaho. Otros autores (Prieto y Watson 2007, Watson *et al.* 1997) ya expusieron las dificultades de los estudiantes para identificar el CO₂ y el agua como productos de la combustión. El no llegar a considerar la observación del vaho como una prueba en la que apoyar sus explicaciones se puede atribuir a la dificultad que

supone para el alumnado incorporar nueva información a sus esquemas de razonamiento, de modo que en lugar de modificar sus modelos mentales por otros más próximos a los modelos científicos, optan por obviar aquella información que pone en entredicho la robustez de sus modelos. Los modelos pueden guiar pero también constreñir la forma en que se interpreta la nueva información como señalan los hallazgos de las investigaciones en psicología cognitiva (ver p. ej., Vosniadou 2002). Cuando la investigadora les preguntó a qué era debido que el recipiente se empañara, los participantes de los grupos A y B señalaron que era el vapor de agua del ambiente que se había condensado. Estas respuestas son semejantes a las recogidas en otros trabajos (Meheut *et al.* 1985). Por su parte, el grupo C simplemente divagó acerca del origen del vaho, sin llegar a ser capaces de ofrecer una explicación.

En la Tabla 4 se resumen los resultados obtenidos. Se indica el número de estudiantes que utilizan cada modelo en la etapa de predicción y el de quienes lo utilizan al finalizar la tarea.

Tabla 4. Frecuencia de estudiantes dentro de cada categoría en los modelos para la combustión de una vela al inicio y al final de la tarea.

Niveles	Modelos	Inicio de la tarea		Fin de la tarea	
		Estudiantes	Frecuencia (N=8)	Estudiantes	Frecuencia (N=8)
Nivel 1	Desaparición	Ana, Cecilia.	2	-	0
	Modificación	-	0	Andrea, Belén, Carla, Cristina.	4
Nivel 2	Transmutación	Alicia, Andrea, Bernardo, Belén, Carla, Cristina.	6	Alicia, Ana, Cecilia.	3
		-	0	Andrea, Belén, Bernardo, Carla, Cristina.	5
Nivel 3	Reacción química				

En general, se observa una progresión en las interpretaciones de los estudiantes gracias a la discusión entre pares estimulada por las intervenciones de la investigadora. Solamente una estudiante, Alicia, se mantiene en el mismo nivel, activando el mismo modelo durante toda la tarea.

Conclusiones e implicaciones didácticas

En este trabajo se pretendió describir los modelos mentales que activan los estudiantes cuando intentan dar sentido a un fenómeno cotidiano y cómo estos modelos se pueden aproximar a los modelos de la ciencia escolar cuando se les da tiempo para reflexionar y discutir y además se les hacen preguntas que retan sus modelos mentales.

En relación a los modelos empleados para predecir y explicar fenómenos de combustión, en general podemos decir, basándonos en los resultados obtenidos, que aunque el modelo de reacción química es el único que se presenta en la enseñanza del cambio químico, los estudiantes en un principio activan modelos alternativos para explicar la combustión de una vela y la extinción de la llama al cubrirla con un recipiente. Los estudiantes describieron inicialmente la combustión de una vela como desaparición de una sustancia, en este caso del oxígeno, situándose en el nivel de progresión más bajo, o como transmutación de la sustancia, en la que el oxígeno se transforma en llama o en CO_2 . En la explicación escrita en el cuestionario, todos consideraron que el oxígeno era importante. Para la mayoría el oxígeno era alimento para la llama, y no hicieron referencia a la interacción entre el oxígeno y el combustible. Además, ninguno de los estudiantes hizo mención a la formación de agua como producto de la combustión. Ni siquiera los tres que sí registraron la observación de la

formación de vaho en el interior del recipiente lo utilizaron como elemento en sus explicaciones.

En relación a cómo influyen la observación, la reflexión y la discusión sobre los fenómenos en los modelos iniciales de los estudiantes, hemos de remarcar que la investigadora tuvo que intervenir con preguntas que suponían retos cognitivos para los estudiantes y los animaban a discutir sus ideas, pues los participantes, al no estar habituados a enfrentarse a tareas de este tipo, apenas discutieron de forma espontánea. Una vez que la interacción fue fomentada con las preguntas de la investigadora, se activaron nuevos modelos según el material en el que centraran la observación. Cuando se fijaban en la mecha sí consideraban que se producía una reacción química de combustión. Cuando hacían referencia a la cera, la transformación que señalaban era que se fundía, activando el modelo de modificación de la sustancia. Sólo un estudiante consideró que la cera era el combustible. En general, la cera tenía para ellos una función únicamente de soporte o de ralentización de la combustión de la mecha. Estos hallazgos son similares a los descritos en estudios previos (BouJaoude 1991, Gabel *et al.* 2001, Löfgren y Helldén 2008, Watson *et al.* 1997).

La interacción social dio oportunidades a los estudiantes de hacer explícitos sus modelos y desarrollarlos a un nivel de complejidad mayor. Gracias a la discusión estimulada por la investigadora fue posible que algunos estudiantes hiciesen explícito un modelo para el cambio químico más cercano al de reacción química, si bien en general, los estudiantes recurrieron en sus explicaciones a esquemas de interpretación macroscópicos mostrando bastante resistencia a mencionar la existencia de átomos y moléculas, resultados que concuerdan con otros trabajos (Watson *et al.* 1997). Por ello, para incrementar el nivel de sofisticación de los modelos mentales de los estudiantes, coincidimos con Garrido (2016) en la necesidad de proponer en el aula tareas en las que los discentes cuenten con la oportunidad de evaluar y revisar sus modelos, y de involucrarse en las discusiones que acompañan al proceso de modelización. Sólo a partir de aquellas situaciones en las que el alumnado valore sus modelos como insuficientes por no cumplir con el propósito de dar cuenta de los fenómenos observados, se podrá producir una superación de los mismos. En este sentido son especialmente útiles las actividades POE, en las que los estudiantes tienen la oportunidad de utilizar sus modelos previos para hacer una predicción sobre un fenómeno, observarlo y después explicarlo (White y Gunstone 1992). Este tipo de tareas se aleja del formato explicación-aplicación, en el que la información se da primero y se aplica después (Yan y Talanquer 2015), y que dificulta que el estudiante haga explícitos sus modelos mentales obstaculizando que evolucionen hacia modelos más próximos a los de la ciencia escolar.

Entre las limitaciones de este trabajo queremos señalar que la generalización de los hallazgos es limitada por la naturaleza cualitativa de la investigación. Sin embargo, la coincidencia de las ideas y modelos descritos en este trabajo con los ya descritos en la literatura ayuda a darles un cierto carácter predictivo que permite anticiparnos a los modelos que pueden activar los estudiantes y prestar un mejor apoyo a la hora de facilitar la evolución de sus modelos mentales.

Esperamos que este trabajo anime a los profesores a implementar actividades en el aula en donde se dé a los estudiantes un mayor protagonismo y más tiempo para pensar y aplicar ideas que les ayuden a construir y reconstruir sus modelos mentales.

Agradecimientos

Al proyecto EDU2015-66643-C2-2-P, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, del que forma parte este trabajo. A los participantes en el estudio y a los revisores del artículo, cuyas aportaciones han contribuido a mejorar su calidad.

Referencias

- Aikenhead G. S. (1996) Science Education: Border crossing into the subculture of science. *Studies in Science Education* 27, 1-52.
- Andersson B. (1990) Pupils' conception of matter and its transformation (age 12-16). *Studies in Science Education* 18, 53-85.
- BouJaoude S. B. (1991) A study of the nature of students' understandings about the concept of burning. *Journal of Research in Science Education* 28 (8), 689-704.
- Castillejo R., Prieto T., Blanco A. (2005) El lenguaje y las teorías de los alumnos en la comprensión de la combustión. *Enseñanza de las Ciencias (Extra)*, 1-7.
- Chang J. M., Lee H., Yen, C. F. (2010). Alternative conceptions about burning held by Atayal indigene students in Taiwan. *International Journal of Science and Mathematics Education* 8 (5), 911-935.
- Driver R., Asoko H., Leach J., Scott P., Mortimer E. (1994) Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational researcher* 23 (7), 5-12.
- Gabel D. L., Monaghan D. L., MaKinster J. G., Stockton J. D. (2001) Changing children's conceptions of burning. *School Science and Mathematics* 101 (8), 439-451.
- Garrido A. (2016) *Modelització I models en la formació inicial de mestres de primària des de la perspectiva de la pràctica científica*. Tesis doctoral. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona. <http://hdl.handle.net/10803/399837>
- Gilbert J. K., Boulter C. J., Elmer, R. (2000) Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. En J. K. Gilbert, C. J. Boulter (eds.), *Developing Models in Science Education* (pp 3-17). Dordrecht: Kluwer.
- Gilbert J., Justi R. (2016) *Modelling-based teaching in science education*. Switzerland: Springer.
- Greca I. M., Moreira M. A. (2000) Mental models, conceputal models, and modelling. *International Journal of Science Education* 22 (1), 1-11.
- Hadenfeldt J. C., Liu X., Neumann K. (2014) Framing students' progression in understanding matter: a review of previous research. *Studies in Science Education* 50 (2), 181-208.
- Hadenfeldt J. C., Neumann K., Bernholt S., Liu X., Parchmann I. (2016) Students' progression in understanding the matter concept. *Journal of Research in Science Teaching* 53 (5), 683-708.
- Johnson-Laird P. N. (1983) *Mental models. Towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Justi R. (2009) Learning how to model in science classroom: key teacher's role in supporting the development of students' modelling skills. *Educación química* 20 (1), 32-40.
- Kermen I., Meheut M. (2011) Grade 12 French students' use of a thermodynamic model for predicting the direction of incomplete chemical changes. *International Journal of Science Education* 33 (13), 1745-1773.
- Lemke J. (1990) *Talking science*. Norwood, NJ: Ablex.
- Löfgren L., Helldén G. (2008) Following young students' understanding of three phenomena in which transformations of matter occur. *International Journal of Science and Mathematics Education* 6, 481-504.

- Márquez C., Pujol R. M., Bonil J. (2005) Las preguntas mediadoras como recursos para favorecer la construcción de modelos científicos complejos. *Enseñanza de las Ciencias* 1-5.
- Meheut M., Saltiel E., Tiberghien A. (1985) Pupils' conceptions (11-12 years old) of combustion. *European Journal of Science Education* 7 (1), 83-93.
- Merino C., Izquierdo M. (2011) Aportes a la modelización según el cambio químico. *Educación química* 22 (3), 212-223.
- Merrit J. D., Krajcik J., Shwartz Y. (2008) Development of a learning progression for the particle model of matter. En *Proceedings of the 8th International Conference for the Learning Sciences-Volume 2* (pp. 75-81). Utrecht, The Netherlands: International Society of the Learning Sciences.
- Moreira M. A. (2002) Investigación en educación en ciencias: métodos cualitativos. *Texto de apoyo* 14.
- National Research Council (NRC) (2012) *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington DC: The National Academies Press.
- Ogborn J., Kress G., Martins I. (1998) *Formas de explicar. La enseñanza de las ciencias en Secundaria*. Madrid: Santillana.
- Prieto T., Watson R. (2007) Trabajo práctico y concepciones de los alumnos: la combustión. En M. Izquierdo, A. Caamaño, M. Quintanilla (eds.), *Investigar en la enseñanza de la Química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar* (pp 115-140). Barcelona: UAB.
- Prieto T., Watson R., Dillon J. (1992) Pupils' understanding of combustion. *Research in Science Education* 22, 331-340.
- Raviolo A., Garritz A., Sosa P. (2011) Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 8 (3), 240-254. <http://hdl.handle.net/10498/14388>
- Sanmartí N., Izquierdo M., Watson R. (1995) The substantialisation of properties in pupils' thinking and in the history of science. *Science & Education* 4 (4), 349-369.
- Taylor S. J., Bogdan R. (1994) *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Barcelona: Paidós.
- Vázquez S., García-Rodeja I. (2005) "Signando" juntos: conversaciones sobre la transformación de la materia. *Enseñanza de las Ciencias* 23 (2), 237-250.
- Vosniadou S. (2002) Mental models in conceptual development. En L. Magnani, N. Nersessian (eds.), *Model-based reasoning: Science, Technology, Values* (pp. 353-368). New York: Springer.
- Watson J. R., Prieto T., Dillon J. S. (1997) Consistency of students' explanations about combustion. *Science Education* 81 (4), 425-443.
- White R. T., Gunstone R. F. (1992) *Probing Understanding*. Londres: The Falmer Press.
- Yan F., Talanquer V. (2015) Students' ideas about how and why chemical reactions happen: mapping the conceptual landscape. *International Journal of Science Education* 37 (18), 3066-3092.
- Yin R. K. (2003) *Case study research. Design and methods*. California: Sage Publications.