

Desarrollando la competencia de modelización mediante el uso y aplicación de analogías en torno al cambio químico

Developing the modelling competence through the use and application of analogies around the chemical change

M.^a del Mar Aragón, J. M.^a Oliva-Martínez, A. Navarrete

Departamento de Didáctica, Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad de Cádiz, España.

mariadelmar.aragon@uca.es; josemaria.oliva@uca.es; antonio.navarrete@uca.es

RESUMEN • En este estudio se analiza el papel del trabajo con analogías en la movilización y desarrollo de capacidades y valores vinculados a la actividad de modelización en ciencias. Concretamente, se estudian aquellos procesos que se relacionan con el uso y aplicación del modelo de cambio químico. La información utilizada para el análisis procede de 35 estudiantes de tercero de ESO con los que se ensayó una propuesta de enseñanza que empleaba analogías como recurso central y recurrente. El instrumento fundamental de recogida de datos consistió en el portafolio del alumno, si bien de forma complementaria se recurrió también a entrevistas individuales, al diario del profesor y a grabaciones. Los datos obtenidos muestran cómo el entorno de trabajo planteado ofreció un escenario estimulante para la puesta en práctica y desarrollo de habilidades, destrezas y valores necesarios para usar y aplicar los modelos aprendidos de la ciencia escolar. No todos los alumnos se beneficiaron de igual modo de dicho escenario, si bien más de dos tercios de ellos evidenciaron niveles apropiados en la competencia de modelización.

PALABRAS CLAVE: analogías; cambio químico; competencia de modelización; modelización.

ABSTRACT • In this paper the role of analogies in the implementation and development of student skills and values that relate to modeling activities, is analyzed. More specifically, the processes that relate to the use and application of the chemical change model were evaluated. The information provided is taken from 35 students of 3rd ESO. These students were taught through a teaching proposal using analogies as central and recurrent resource. The main instrument of the study consisted of student portfolio, which supplemented information from these other interviews, diary of the teacher and some audio recordings. The data obtained show how the proposed work environment offered a stimulating scenario with opportunities for the implementation and development of the abilities, skills and values needed to use and apply the curricular models learned in the classroom. Not all students benefited equally from this scenario, although more than two thirds of them showed appropriate levels of modeling competence.

KEYWORDS: analogies; chemical change; modeling competence; modelling.

Fecha de recepción: abril 2013 • Aceptado: septiembre 2013

Aragón, M., Oliva-Martínez, J.M., Navarrete, A. (2014) Desarrollando la competencia de modelización mediante el uso y aplicación de analogías en torno al cambio químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 32.3, pp. 337-356

INTRODUCCIÓN

Este artículo se sitúa en una línea de continuidad con otros dos anteriores en los que se adoptaban los modelos y la modelización como marco de referencia. En el primero (Oliva y Aragón, 2009a), se discutía la naturaleza y el papel de las analogías como herramientas de acercamiento de los alumnos a los modelos de la ciencia escolar y su contribución al desarrollo de procedimientos y compromisos epistemológicos relacionados con los procesos de modelización científica. Con ello se intentaba ofrecer un marco teórico desde el que entender las aportaciones del aprendizaje con analogías al desarrollo de la competencia de modelización en ciencias (Justi y Gilbert, 2002; Justi, 2006).

En el segundo artículo (Aragón, Oliva y Navarrete, 2013), se analizó la evolución de los modelos explicativos en el ámbito del cambio químico a través de una propuesta didáctica dirigida a alumnos de secundaria en la que las analogías jugaban un papel central y recurrente en el aprendizaje. El foco de atención se situaba en el análisis de los modelos desarrollados finalmente por los alumnos, en comparación con los empleados antes de cursar la propuesta de enseñanza de referencia.

En esta ocasión la mirada se dirige, con una orientación diferente, no tanto al análisis de los modelos explicativos que desarrollaron los alumnos a lo largo de la propuesta, como al estudio de los procesos de modelización movilizados a lo largo de esta. Tales procesos se consideran indicadores de las demandas exigidas a los alumnos al trabajar con modelos y, por consiguiente, de las oportunidades que pudo brindar la propuesta para desarrollar la competencia de modelización. Esta la entendemos como conjunto de conocimientos, habilidades, destrezas y valores necesarios para llevar a cabo la tarea de modelar en su dimensión más amplia (Justi y Gilbert, 2002). No solo se trataría de aprender los modelos de la ciencia escolar, sino también de trabajar con estos, elaborarlos y revisarlos, así como hablar y opinar acerca de ellos, entendiendo su valor, su utilidad, su carácter aproximativo y cambiante, y también sus limitaciones. Todo ello en aras de enseñar a los alumnos cómo construir modelos (Justi y Gilbert, 2002) y promover a la vez habilidades y destrezas relacionadas con la indagación científica (Halloun, 2007) y el pensamiento crítico acerca de los conocimientos estudiados (Solbes, 2013a,b).

El estudio se dirige a presentar evidencias que muestren cómo la implementación de la propuesta con analogías constituyó un marco estimulante para la implicación de los alumnos en el proceso de modelización y facilitador del desarrollo de esa competencia. Todo ello desde la base de cuatro premisas fundamentales:

1. Que la modelización es una actividad compleja que debe formar parte explícita en los procesos educativos a cualquier nivel (Harrison y Treagust, 2000; Justi y Gilbert, 2002; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2005; Chamizo, 2010; Camacho *et al.*, 2012).
2. Que la competencia de modelización presenta distintos niveles de complejidad, como lo muestran las diferentes fases propuestas para su desarrollo por Justi y Gilbert (2002): *a*) aprender modelos, *b*) usar modelos, *c*) revisar modelos, *d*) reconstruir modelos y *e*) construir modelos nuevos.
3. Que aquellas situaciones de aprendizaje que exigen involucrar al alumnado en prácticas de modelización contribuirán a la mejora del desempeño del alumnado en las tareas puestas en juego (Schwarz, 2002; Schwarz y White, 2005; Halloun, 2007; Prins *et al.*, 2009; Cardoso Mendonça y Justi, 2011; Maddeen, Jones y Rahm, 2011; Bamberger y Davis, 2013) y, en consecuencia, en el desarrollo de la competencia correspondiente.
4. Que un entorno de aprendizaje con analogías puede proporcionar oportunidades para la puesta en juego y desarrollo de prácticas de modelización (Justi y Gilbert, 2006), gracias a la existencia de mecanismos comunes entre los procesos analógicos y de modelización (Oliva y Aragón, 2009a). En este sentido, las fases mencionadas para la actividad de modelización también podrían extrapolarse al trabajo con analogías: *a*) aprender las analogías del profesor, *b*) aplicarlas

para interpretar/predecir fenómenos, *c*) criticar las analogías aprendidas, *d*) participar en el aula en la construcción de analogías y *e*) generar analogías propias.

Volviendo al propósito del trabajo, el estudio se focaliza en la segunda fase de modelización postulada por Justi y Gilbert, esto es, el uso y la aplicación de modelos. Concretamente, este aprendizaje consistiría en ser conscientes de la utilidad de los modelos y usarlos para representar icónicamente los sistemas y sus cambios, así como interpretar fenómenos y realizar otros razonamientos de indagación en situaciones de incertidumbre, como son el diseño de experiencias y la realización de experimentos mentales. En este marco, es factible considerar que el razonamiento analógico sea de utilidad como heurístico en la interpretación figurativa de los fenómenos estudiados, como aproximación interpretativa a la hora de comprenderlos, o a la hora de realizar predicciones acerca de ellos. De hecho, analogías, imágenes y experimentos mentales suponen la base para el desarrollo de ideas científicas, constituyendo la esencia de los procesos creativos en la ciencia (Nersessian, 2002). Además, la tarea de modelizar conlleva el uso de diseños experimentales de comprobación y de experimentos mentales, procesos en los que tanto el modelo mental análogo como los objetos que se utilizan para evocarlos pueden servir de soporte sobre el que construir significados y conclusiones al ser modelos concretos (Justi y Gilbert, 2002; Justi, 2006; Cardoso Mendonça y Justi, 2011). Por ello, comprobar la fertilidad de las analogías, como herramienta para predecir o entender nuevos fenómenos, puede ser clave para valorar la lógica y la racionalidad del pensamiento científico, así como la importancia de los modelos en la construcción de las ciencias (Raviolo, Ramírez y López, 2010). Se reconoce así la importancia de conectar el lenguaje con el experimento, el experimento con la representación o la representación con el lenguaje (Merino e Izquierdo, 2011), y que las analogías pueden constituir recursos útiles a la hora de articular estos mecanismos.

Para comprender qué tipo de datos se recopilaron en el estudio y su análisis posterior, es importante recordar distintas modalidades de representación posibles para el cambio químico (Aragón, Oliva y Navarrete, 2013), en consonancia con los trabajos de Johnstone (1982) y Barsalou (1999):

- *Representaciones proposicionales*. Descripciones y explicaciones expresadas en formato verbal, ya sea en un ámbito macroscópico o submicroscópico.
- *Representaciones icónicas modales*. Diagramas pictóricos mediante códigos que guardan una cierta relación de similitud con los objetos que representan, átomos y moléculas sobre todo, normalmente bolas, circuitos, etc.
- *Representaciones icónicas amodales*. Constituidas por símbolos que no guardan relación de semejanza con el objeto representado. Es el caso del lenguaje simbólico de la química, mediante símbolos de elementos, fórmulas y ecuaciones químicas.

Estas modalidades serán básicas a la hora de situar el sentido de las producciones del alumnado en este estudio, dada la necesidad de contemplar diversos tipos de códigos de representación y la posibilidad de un uso múltiple de ellos en un mismo alumno (Mortimer, 1998; Solsona, Izquierdo y Jong, 2003; Kern *et al.*, 2010; Talanquer, 2011). Tales sistemas de códigos vienen a configurar algo así como tres lenguajes distintos, consistiendo gran parte de la actividad de quien modeliza en torno al cambio químico en la *traducción* de unos lenguajes a otros (Keig y Rubba, 1993). De hecho, autores como Kozma y Russell (1997) consideran que la capacidad para moverse a través de distintas representaciones es, en sí misma, una definición operativa de la competencia representacional, que es una de las dos componentes básicas –junto a la metarrepresentacional– de la competencia de modelización (Kozma y Russell, 1997; Schwarz, 2002; diSessa, 2004).

EL CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN Y EL ACCESO AL CAMPO

El contexto de investigación se sitúa en el proceso de implementación de una propuesta didáctica a nivel de tercer curso de educación secundaria obligatoria, descrita ya en trabajos anteriores (Aragón, Oliva y Navarrete, 2010), que utilizaba analogías como instrumento recurrente dentro de un proceso de enseñanza focalizado en la modelización en química (Justi y Gilbert, 2002). Dicha propuesta, desarrollada a través de una trama de actividades a lo largo de dieciséis sesiones de una hora, ha servido como escenario para la toma de datos. Los contenidos y objetivos planteados han sido descritos ampliamente en Aragón, Oliva y Navarrete (2010), mientras que el tipo de planteamiento metodológico seguido y la trama de actividades propuestas han sido objeto de análisis también tanto en ese mismo trabajo como en otro anterior (Oliva y Aragón 2009*b*), y en uno más publicado más adelante (Aragón, Oliva y Navarrete, 2013).

Las analogías empleadas fueron diversas y variadas, y algunas de ellas se utilizaron en distintos momentos del proceso de intervención didáctica y con diferente intencionalidad. Entre ellas destacamos: *a*) el uso de frutas y fruteros o fichas circulares de cartulina, con el objetivo de visualizar la idea de átomos y moléculas discretas, así como para utilizar una simbología ideada por los alumnos para representarlos; *b*) el empleo de piezas de Lego para representar la idea de átomo, molécula y red, así como para simular los procesos de construcción y reconstrucción de moléculas durante el cambio químico, y *c*) la utilización de bolas de plastilina con imanes en su interior, que se agitan en una caja para simular el movimiento de las moléculas y las fuerzas atractivas que dan lugar a la formación de nuevos enlaces en una reacción química. De esta forma, las analogías empleadas no solo fueron un recurso para disminuir la abstracción conceptual y facilitar la comprensión del alumnado, sino también una herramienta para desarrollar capacidades y valores relacionados con la modelización. Todo ello gracias a la existencia, esa era al menos nuestra hipótesis, de un núcleo común de capacidades y valores inherentes a los procesos de pensamiento analógico y a los de modelización (Oliva y Aragón, 2009*a* y *b*).

La información que proporcionamos está extraída de dos grupos similares de estudiantes de un mismo centro de secundaria, 35 en total (15 el primer año y 20 el segundo), de los que 24 eran chicas y 11 chicos. Todos ellos y ellas enseñados por una misma profesora que adoptó el rol de participante-observadora, esto es, como docente e investigadora. Los alumnos pertenecían a un nivel socioeconómico medio y el centro se correspondía con un instituto público en el que se proporcionaba una enseñanza bilingüe, con el castellano como lengua principal y el francés como segunda lengua.

Para valorar el desempeño en la tarea de modelización se ha recurrido al análisis de las producciones escritas de los alumnos procedentes de las tareas desarrolladas en clase durante la unidad. El instrumento fundamental del estudio fue el portafolio del alumno, como documento en el que se refleja el trabajo de los estudiantes en clase, los progresos que van alcanzando y sus valoraciones e impresiones sobre su proceso de aprendizaje. El tipo de tareas planteadas para la toma de datos puede consultarse en estudios anteriores (Aragón, Oliva y Navarrete, 2010 y 2013). Baste decir que se trataban de actividades que justamente intentaban movilizar y valorar procesos de descripción, análisis, representación, interpretación y predicción de fenómenos químicos. La información recopilada a través de esta vía fue completada con informaciones obtenidas a través de entrevistas individuales semiestructuradas realizadas para complementar y/o aclarar información procedente del portafolio. Con el mismo propósito se recurrió también a algunas transcripciones extraídas del diario del profesor-observador, y a algunas grabaciones en audio realizadas durante las discusiones de aula.

La naturaleza del estudio es de corte cualitativo e interpretativo. Sobre la base de la información recopilada, en forma de textos, dibujos y diálogos, se ha realizado un análisis de contenido que ha permitido delimitar una serie de dimensiones para evaluar el desempeño del alumnado. Las dimensiones consideradas fueron las que se muestran en la tabla 1. Como se puede apreciar, para cada una

de las dimensiones de modelización contempladas se ha concretado una forma de trabajar en torno a ella mediante el empleo de analogías. Tales oportunidades han servido también como indicadores del abordaje de cada una de esas facetas.

Tabla 1.
Dimensiones analizadas para la actividad
de modelización y su concreción en el trabajo con analogías

<i>Dimensiones evaluadas para la competencia de modelización</i>	<i>Concreción a través del uso y aplicación de las analogías aprendidas</i>
D1. Representar mediante imágenes y simulaciones tanto procesos como sistemas.	Representar sistemas y procesos analógicos.
D2. Interpretar la realidad de forma verbal mediante los modelos ya aprendidos.	Interpretar la realidad de forma verbal, usando analogías.
D3. Aplicar los modelos aprendidos a situaciones de indagación o incertidumbre: formular problemas, diseñar experiencias o realizar predicciones.	Realizar predicciones y/o experimentos mentales usando analogías. Uso de las analogías como herramientas heurísticas.
D4. Estimar la utilidad de los modelos como instrumentos racionales e imaginativos para comprender el mundo.	Estimar la utilidad de las analogías como instrumento de comprensión.

Para evaluar el grado de desempeño del alumnado en cada uno de estos indicadores se han elaborado escalas ordinales según una rúbrica común que se definió para analizar las producciones del alumnado como respuesta a las actividades planteadas en clase. Tal técnica de recogida y análisis de la información ha sido ya empleada por otros autores en trabajos anteriores, mostrándose ampliamente útil para los propósitos considerados (Kozma y Rusell, 2005; Madden, Jones y Rahm, 2011). Dicha rúbrica nos permitió conocer no solo qué capacidades y/o valores movilizaban los alumnos, sino también con qué grado de adecuación lo hacían, o si se prefiere, con qué nivel de progresión (Schwarz *et al.*, 2009). Para cada dimensión, se observaron mejoras parciales en estos niveles a lo largo de la unidad curricular. No obstante, como no era objeto de este estudio analizar la evolución producida como consecuencia de la enseñanza, no efectuamos ningún análisis longitudinal al respecto. En su lugar, se ha preferido manejar una valoración única de conjunto que marque el desempeño predominante en cada caso. Las escalas construidas atendieron a este planteamiento, contando con cuatro niveles de progresión:

- Nivel nulo: no se manifiesta la capacidad o no se dispone de información suficiente.
- Nivel insuficiente: se pueden mostrar indicios mínimos de desempeño, pero con notables carencias e insuficiencias.
- Nivel básico: las capacidades analizadas se aproximan a los niveles esperados, manifestándose rara vez según un desarrollo no adecuado.
- Nivel avanzado: las capacidades analizadas se manifiestan con elevada frecuencia conforme a lo esperado.

En lo que sigue, a efectos de ilustrar cómo el escenario didáctico proporcionó situaciones para trabajar en torno a las dimensiones contempladas, se aportarán ejemplos centrados solo en el alumnado de nivel avanzado, que es aquel que en la información obtenida ofrece muestras suficientes de pericia en esa faceta. Con ello se pretende presentar, justamente, los casos en los que la transferencia entre procesos analógicos y de modelización resultó más patente.

REPRESENTAR PROCESOS Y SISTEMAS ANALÓGICOS (D1)

Esta primera dimensión trataba de analizar el uso por parte del alumnado de representaciones analógicas ya abordadas en el aula, aplicándolas para dar respuesta a situaciones planteadas en torno a las sustancias y el cambio químico.

La analogía de las fichas ha sido la más empleada para realizar representaciones y simulaciones de sistemas y de cambios en esta vertiente (figura 1), si bien a veces también se ha hecho uso de la analogía del Lego para realizar representaciones moleculares. El sistema de representación mediante fichas constituye en sí mismo un caso típico de sistema de representación analógica. De hecho, representar icónicamente sistemas y procesos analógicos coincide en gran medida con la actividad de modelización propiamente.



Fig. 1. Simulación de un cambio químico a escala submicroscópica usando el análogo de las fichas.

La actividad de representación analógica ha sido planteada a los alumnos en varias ocasiones durante el desarrollo de la unidad. En concreto, en diversas tareas se les pedía que, haciendo uso del modelo mecánico de fichas, dibujasen moléculas para representar el significado de diversas fórmulas químicas (CO_2 , H_2 , C_4H_{10} , etc.) o visualizasen y simulasen una serie de ecuaciones químicas. Así mismo, en otra actividad, los propios alumnos escenificaron la composición y estructura de sustancias moleculares y no moleculares, actuando ellos mismos como análogos en los que cada uno representaba un átomo. Los dibujos que los alumnos recogieron en sus portafolios representaban las simulaciones realizadas en clase con el análogo de fichas. Es de destacar el elevado número de alumnos que aplicaron las analogías en el nivel más avanzado para realizar representaciones de esta naturaleza, concretamente en 21 de los 35 casos (60%). La proporción ascendía al 80% al incluir además al alumnado de nivel básico.

En este nivel de desarrollo de la capacidad situamos a Marisa. Ella utiliza el análogo de fichas para representar sólidos cristalinos, y en otra actividad realiza una serie de dibujos en los que, con éxito, representa las configuraciones realizadas con las fichas.

Dicha alumna muestra también éxito en esta capacidad en una actividad de representación de sólidos moleculares y atómicos. Por ejemplo, la figura 2 recoge las fotos y comentarios incluidos en su portafolio respecto a la actividad de escenificación comentada antes. Podemos apreciar cómo tanto las

fotos como los comentarios que incluye Marisa son coherentes con una interpretación apropiada de la actividad realizada.



Fig. 2. Escenificación en el aula de estructuras moleculares y cristalinas.

Marisa realiza simulaciones de los cambios químicos usando la analogía de las fichas. En su portafolio dibuja las simulaciones realizadas. Lleva a cabo esta tarea siempre que se le demanda, y lo hace además de forma adecuada. Así, en la figura 3 encontramos la representación de la combustión del butano. En los productos no dibuja la totalidad de las moléculas, dado su elevado número, pero indica por escrito el número de moléculas de cada sustancia y el número de átomos de cada elemento que completan la representación. Puede verse que Marisa intenta utilizar siempre para cada elemento el mismo icono circular, conservando su tamaño y su color. No obstante, a veces los tamaños se trastocan, como también los colores de relleno.

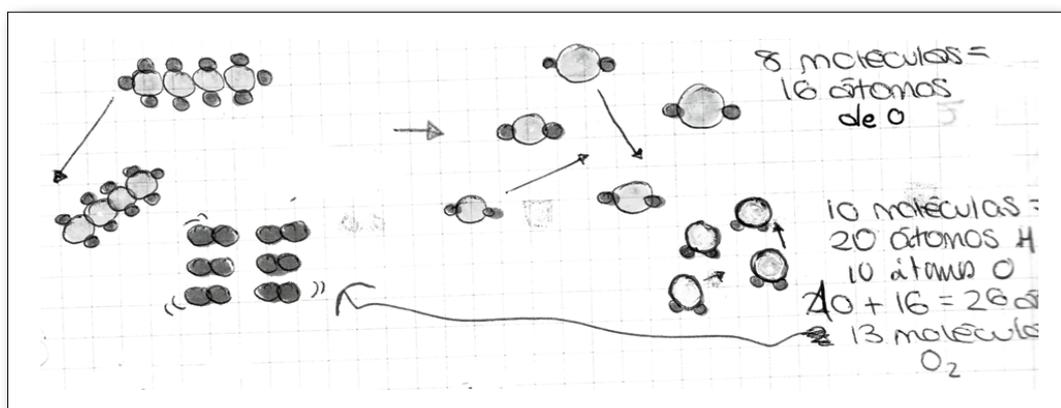


Fig. 3. Representación de la combustión del butano.

Del mismo modo realiza la representación de la descomposición del amoníaco, manteniendo siempre constante el número de fichas, o átomos, en el ámbito del objeto. No obstante, de nuevo, descuida el detalle del tamaño de las esferitas en algún que otro caso, como ocurre con la representación de la combustión del octano (figura 4); en la leyenda indica que los discos de color amarillo corresponden a los átomos de oxígeno. Para nosotros, esta variación de tamaño de los círculos al representar el dióxido

de carbono no resulta demasiado importante, dado que en conjunto demuestra una interpretación adecuada del proceso presentado. Para ejemplificarlo, a continuación se muestra cuál es la explicación que realiza Marisa sobre la representación realizada: «Cada dos moléculas de octano reaccionan con 25 moléculas de dióxigeno formando 16 moléculas de dióxido de carbono y 18 moléculas de agua». Como vemos, aplica adecuadamente el sistema análogo para obtener conclusiones sobre el objeto a partir de la simulación.

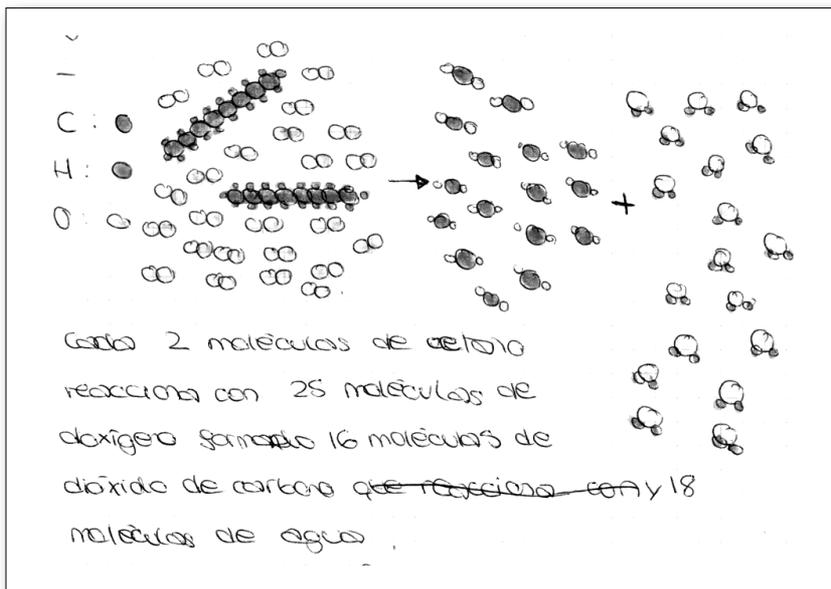


Fig. 4. Representación de la combustión del octano.

La alumna Virginia también se muestra competente al aplicar el análogo de las fichas para obtener información del objeto y resolver cuestiones a través de las representaciones en diversas ocasiones. Así, haciendo uso del análogo de los discos, representa y después dibuja las moléculas que simbolizan las fórmulas. Explica además el significado de estas, indicando la composición y el tipo de sustancia:

CO_2 , dióxido de carbono. Sustancia compuesta, formada por dos átomos de oxígeno y uno de carbono.

H_2 , dihidrógeno. Sustancia simple, cada molécula está formada por dos átomos de hidrógeno.

C_4H_{10} , butano. Sustancia compuesta, cada molécula formada por 4 átomos de carbono y 10 de hidrógeno.

O_2 , dióxigeno. Sustancia simple formada por dos átomos de oxígeno (portafolio de Virginia).

También se muestra capaz de representar diferentes sustancias usando el análogo de discos. En los dibujos posteriores simboliza el desplazamiento o la vibración de las moléculas. Este movimiento fue simulado en el aula haciendo uso del análogo de las bolas de plastilina.

Ella representa, además, mediante el mismo análogo, y después mediante dibujos, la estructura de sólidos cristalinos. En este caso representa la atracción entre átomos mediante líneas. Este símbolo no fue usado en el aula, sino que es iniciativa propia (figura 5a). Las representaciones de las simulaciones realizadas por Virginia de algunos cambios químicos se recogen en la figura 5b. En ellas se aprecia cómo la alumna es capaz de combinar el modelo icónico modal (circulitos) con el modelo icónico amodal (símbolos y fórmulas).

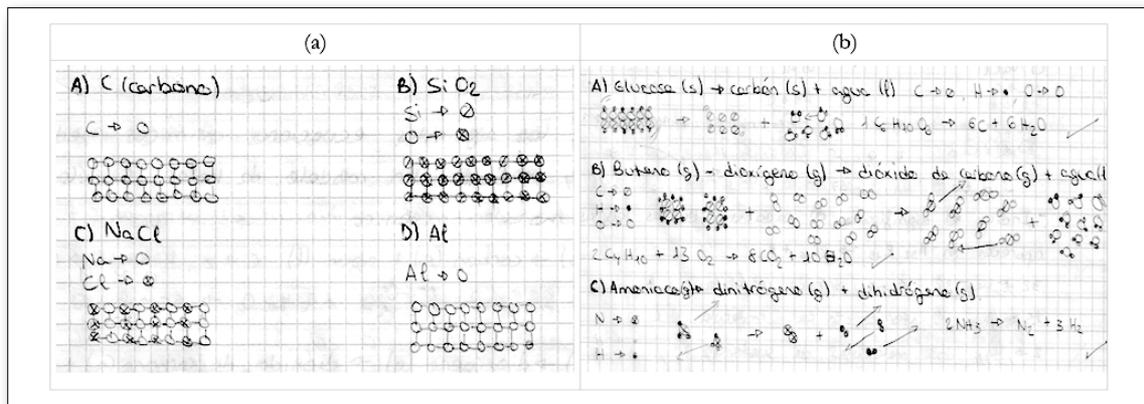


Fig. 5. Representación de sólidos cristalinos.

INTERPRETAR LA REALIDAD DE FORMA VERBAL USANDO LAS ANALOGÍAS APRENDIDAS (D2)

Otra forma de trabajar (y evaluar) la competencia del alumno para usar y aplicar los modelos aprendidos es a través del discurso verbal que los alumnos despliegan al emplear las analogías propuestas por el profesor y/o los propios materiales de enseñanza. Dicha tarea se ha planteado al menos en dos ocasiones. En una de ellas se solicitaba a los alumnos que, aplicando la analogía del Lego, justificasen el diferente comportamiento de las sustancias elementales y compuestas frente a la descomposición. En otra se pedía que interpretasen la ley de conservación de la masa haciendo uso de esa misma analogía.

En el nivel de progresión más alto situamos a aquellos alumnos que se mostraron capaces de aplicar adecuadamente las analogías estudiadas para interpretar fenómenos (12 de los 35). Es el caso de la alumna Inma, que aplica la analogía del Lego para interpretar la ley de conservación de la masa:

En la formación de figuras hay el mismo número de piezas en la primera figura que en la segunda, aunque se distribuyen de forma distinta las piezas formando el mismo número de figuras o distinto. Cuando se produce un cambio químico, hay el mismo número de átomos en el reactivo que en el producto aunque se distribuyen de forma distinta (portafolio de Inma).

Virginia también aplica la analogía del Lego para justificar el principio de conservación de la masa, aunque muestra un estilo diferente al expresarla. Identifica los elementos del análogo y del objeto que están relacionados, citándolos uno tras otro separados por una barra. De este modo se pueden leer dos frases distintas con la misma estructura, una referida al objeto y otra al análogo:

Si al principio contamos con cuatro moléculas de agua/agrupaciones, la molécula/agrupación está formada por dos átomos de hidrógeno/dos piezas rojas y un átomo de oxígeno/una pieza amarilla. Después del cambio químico tendré 8 moléculas de hidrógeno/agrupaciones de piezas rojas y dos moléculas de dióxígeno/dos agrupaciones de dos piezas amarillas. Esto quiere decir que tengo los mismos átomos tanto al principio como al final y por tanto el mismo peso (portafolio de Virginia).

La alumna Charo usa un razonamiento similar, esta vez empleando paréntesis como forma de acortar su razonamiento escrito:

Los legos (átomos) se pueden organizar formando piezas (moléculas) y esas piezas (moléculas) se pueden separar y los legos (átomos) pueden formar otras piezas. Las piezas de los legos pesan lo mismo, las que

hicimos primero y las que hicimos después porque jugamos con los mismos legos. Las moléculas en los cambios químicos pesan lo mismo antes y después porque tienen los mismos átomos (portafolio de Charo).

Alex también aplica la analogía del Lego para hacer interpretaciones. Este alumno evoca la analogía exponiendo una situación concreta del análogo en la que un determinado número de piezas se organizan, si bien la analogía no se llega a hacer explícita del todo:

El principio de conservación de la masa nos indica que la masa total de los reactivos debe ser igual a la masa total de los productos. Así, si tenemos una figuras del lego con 23 piezas amarillas y 12 negras, las figuras finales, tengan la forma que tengan, tienen que sumar un total de 35 piezas, de las cuales 23 han de ser amarillas y 12 han de ser negras y pesar lo mismo. Átomo piezas, moléculas figura (portafolio de Alex).

Charo, al final de la unidad, justifica en primer lugar la ley de conservación de la masa usando el modelo proposicional submicroscópico del cambio químico y, posteriormente, vuelve a argumentar su respuesta haciendo uso de la analogía. Esto nos indica que puede interpretar un proceso usando el modelo de cambio químico, tarea que realiza en primer lugar, pero también que sería capaz de plantear la comparación a la inversa, ilustrando mediante un razonamiento análogo la ley de conservación:

En todo proceso químico, la masa de todas las sustancias iniciales es la misma que la masa de todas las sustancias finales ya que los átomos siempre son los mismos, no cambian, solo se rompen y forman nuevas moléculas, pero como están formadas por los mismos átomos la masa es la misma. En los legos pasa igual, las piezas iniciales se rompen y forman una figura nueva, pero esa figura está formada por las mismas piezas, por lo tanto la masa es la misma (portafolio de Charo).

Por otro lado, durante la implementación de la unidad se realizó una actividad en la que se aplicaba la analogía del Lego, en concreto construyendo columnas con piezas de igual o diferente color, para interpretar el diferente comportamiento de las sustancias elementales y compuestas frente a la descomposición (figura 6a). En las respuestas de los alumnos se aprecia que, tras trabajar con la analogía en el aula, al dar su justificación, emplean el modelo proposicional submicroscópico para elaborar la respuesta, sin apenas hacer referencia a la analogía. En el siguiente fragmento del diario de la profesora podemos apreciar que los alumnos hacen la analogía esperada entre las figuras y las moléculas y la aplican; aunque son imaginativos y hacen construcciones diferentes a las columnas, tal como se aprecia en la figura 6b.

La idea parece gustarles y veo que comienzan a hacer figuras diferentes muy poco después de montar las columnas, lo indico pero dicen que esas también se pueden descomponer, así que los dejo porque parece que tienen ganas de jugar con el Lego y no me parece mal, también pueden divertirse un poco durante la clase e Inés, que en una clase anterior decía que no se podía hacer una muñeca con el Lego, me enseña una. Rosa me enseña una figura con forma de robot y dice que se llama *composeitor*, porque se descompone, y separa las piezas formando dos figuras diferentes. Bueno, esto parece indicar que, aunque juegan, están estableciendo la analogía esperada. Manu levanta la mano y dice que la figura que está formando parece un vehículo, aunque está formada por las mismas piezas puede formar otros coches distintos. Le pregunto entonces si la analogía con esas figuras vale y Manu me dice que no, pero que es más divertido que con las columnas (diario de la profesora-observadora).



Fig. 6. Utilizando la analogía del Lego para interpretar el diferente comportamiento de las sustancias elementales y compuestas frente a la descomposición.

Tras el trabajo en grupo, en la gran mayoría de las respuestas recogidas en los portafolios, los alumnos no explicitan la analogía. Emplean solo el modelo submicroscópico proposicional, como apreciamos en la explicación de Pablo: «Porque las elementales están formadas por un solo tipo de elementos, mientras que las compuestas tienen varios tipos» (portafolio de Pablo). Y también en la de Charo: «Porque las elementales están formadas por un tipo de átomo, mientras que las compuestas están formadas por varios átomos» (portafolio de Charo).

Quizá en la expresión que usa el alumno Guille en su respuesta podríamos reconocer algún vestigio del razonamiento analógico realizado, cuando habla de «formar cosas nuevas», ya que da la sensación de que alude a las diferentes construcciones realizadas con el Lego: «Las sustancias compuestas se pueden descomponer al estar formadas por más de un tipo de átomo y por lo tanto pueden formar cosas nuevas, mientras que si solo tienen un tipo de átomo no pueden formar nada nuevo» (portafolio de Guille).

Pero solo en el caso de Alex se hace alusión directa a la analogía: «Al igual que en el Lego, si no hay átomos (piezas) distintos inicialmente en una molécula, no se pueden formar dos distintas» (portafolio de Alex).

En suma, considerando al menos una de las analogías manejadas, 12 alumnos mostraron capacidad en el nivel máximo contemplado, no mostrando dificultades importantes al explicitar las relaciones entre objeto y análogo. La cifra ascendía a 27 estudiantes (más de las tres cuartas partes) si incluíamos al alumnado de nivel básico.

REALIZAR PREDICCIONES Y/O EXPERIMENTOS MENTALES USANDO ANALOGÍAS (D3)

Con esta dimensión se trataba de valorar si los alumnos serían capaces de aplicar las analogías en condiciones de incertidumbre, en las que la respuesta buscada no se encuentra determinada de antemano, sino que es el fruto de un proceso incierto de resolución de problemas.

Con la finalidad de desarrollarla y ponerla a prueba, una de las actividades realizadas solicitaba a los alumnos que realizaran predicciones sobre la conservación de la masa en reacciones químicas concretas. Asimismo, a través de entrevistas semiestructuradas realizadas en paralelo al desarrollo de las clases, se propuso al alumnado la resolución de un problema de conservación en el que tenían la ocasión de aplicar las analogías para resolverlo.

En este punto hemos de precisar que el principio de conservación de la masa en cambios físicos suponía un contenido que los alumnos habían estudiado ya en cursos anteriores, no así en el caso de los cambios químicos. De ahí que, en principio, considerásemos dicha tarea como algo novedoso para el alumnado. Y prueba de ello es que una actividad previa sobre los cambios químicos planteada al inicio de la unidad nos mostraba que la invarianza de la masa en las transformaciones químicas constituía una idea que estaba lejos de ser asumida por el alumnado, al igual que ocurría con la diferenciación entre cambio físico y cambio químico.

En algunas ocasiones pudimos encontrar a alumnos que eran capaces de resolver una situación problemática mediante el empleo espontáneo de alguna analogía propia o sugerida en otro momento por el profesor. En concreto, 9 de los 35 alumnos parecían mostrar dicha competencia. En estos casos, los alumnos casi siempre optaron por el análogo de las fichas para resolver el problema, lo cual es comprensible teniendo en cuenta que, de todas las analogías propuestas en la unidad, esa es la que visualmente más se asemeja al modelo icónico modal, teniendo la ventaja de poder ser manipulada de modo más flexible.

Ofrecemos un fragmento de la transcripción de la entrevista realizada a Virginia como ejemplo de uso de una analogía en una situación de indagación, al ser preguntada por las cantidades que intervienen en una reacción química entre hierro y azufre. Parece asumir la conservación de la masa, si bien el razonamiento inicial que ofrece se basa en un modelo macroscópico. Luego, a instancias de la profesora, que le pide un razonamiento basado en un modelo submicroscópico, Virginia recurre espontáneamente a la analogía de las fichas para justificar su respuesta:

Virginia: Hay un cambio químico y la materia no desaparece ni aparece, tenemos que tener lo mismo al principio y al final. Además esto me suena...

Profesora: Pero te voy a pedir que interpretes esa posible experiencia usando los modelos que hemos trabajado en clase. Es decir, que justifiques lo que pasa desde el punto de vista de los átomos y de las moléculas.

Virginia: Pues vale.

Profesora: Puedes ayudarte de representaciones, aquí hay papel y boli. También puedes usar las fichas que hemos empleado en clase.

Virginia: Yo prefiero las fichas.

Profesora: Coge las que necesites.

Al iniciar la manipulación de las fichas, Virginia formula las preguntas oportunas que la llevan a los datos que precisa para continuar su razonamiento. Así, pregunta por las fórmulas de las sustancias. No tiene dificultades en establecer las relaciones oportunas entre el análogo y el objeto, pasando de uno a otro de forma espontánea:

Virginia: Pues cojo ficha de dos colores, para el hierro y el azufre.

Profesora: Coge de esta caja, aquí hay muchas.

[Virginia empieza a seleccionar fichas de dos colores y las extiende sobre la mesa]

Virginia: También me hace falta la fórmula de lo que se forma luego.

Profesora: Considera que se forma sulfuro de hierro, de fórmula FeS.

Virginia: Pues entonces uno de cada. A ver, a ver...

[Virginia comienza a organizar las fichas sobre la mesa. Toma varias fichas rosas y las coloca a un lado, después toma fichas verdes y las coloca a otro lado]

Virginia: Pues esta parte de aquí es el hierro y esta parte de aquí es el azufre y ahora se pone todo junto y se une una rosa y una verde, vamos, una de hierro y una de azufre.

Profesora: ¿Una qué?

Virginia: Una bola, no, un átomo de hierro y un átomo de azufre y se forma una molécula de... ¿cómo se llamaba?

Profesora: Sulfuro de hierro.

Virginia: Pues eso, de sulfuro de hierro.

[Virginia continúa aproximando fichas que va emparejando. Cuando termina con las fichas verdes dice]

Virginia: Me faltan fichas verdes, ¿puedo coger cuatro más?

Profesora: Sí, toma lo que quieras.

[Virginia saca de la caja cuatro fichas verdes que empareja con las cuatro rosas que le quedaban sobre la mesa]

Virginia: Bueno, ya está, ya se ha formado el... el sulfuro de hierro.

Profesora: Y el hierro y el azufre.

Virginia: Que ya no queda nada.

Después de formular el cambio químico mediante el análogo, traslada las conclusiones al objeto, tanto a escala submicroscópica, primero, como macroscópica, después:

Profesora: ¿Y con respecto a la masa?

Virginia: Pues que ahora todo junto pesa lo mismo que antes por separado. Los átomos no desaparecen ni aparecen, son los mismos pero unidos de otra forma.

Profesora: ¿Y con esto qué interpretas, la primera o la segunda experiencia?

Virginia: La segunda, no, no, la primera, que es en la que decías que no sobraba nada.

Profesora: ¿Cuál sería entonces la interpretación de la segunda experiencia? (entrevista realizada a Virginia).

Lo mismo pudimos apreciar en una segunda situación que se le planteó, en la que se añadía algo más de uno de los reactivos. Virginia relacionó adecuadamente el modelo macroscópico con el submicroscópico, empleando la analogía de las fichas como herramienta de razonamiento.

En sentido estricto, no podemos precisar en qué momento los alumnos aceptaron la conservación de la masa en los cambios químicos, ya que analogías y contenidos se fueron hilvanando en paralelo a lo largo de la unidad. Por ello, no podemos estar seguros de si las analogías sirvieron a los alumnos como heurístico para desarrollar sus experimentos mentales y resolver las tareas de conservación planteadas, o si solo fueron un recurso para justificar *post hoc* una respuesta ya asumida previamente: la masa se conserva. Este tema de la vinculación entre modelización y razonamiento analógico ha sido ya planteado en un estudio anterior (Oliva y Aragón, 2007), en donde sugerimos una relación bidireccional de simbiosis como mecanismo que mejor explica la relación entre uno y otro proceso. De ahí que esté dentro de lo posible que la analogía de las fichas, más que servir para *descubrir* una respuesta para la pregunta formulada, se utilizase para justificar a escala discontinua un posicionamiento mantenido a priori. En cualquier caso, tanto el experimento mental como su materialización con fichas realizando una simulación fueron algo sobre lo que los alumnos trabajaron de una manera espontánea, con una limitada orientación por parte de la profesora.

Existen casos, sin embargo, en los que sí detectamos un uso heurístico más claro de la analogía, precisamente en torno a un aspecto en principio inesperado para nosotros, como es la orientación de las colisiones y los enlaces químicos. En concreto, en una actividad en la que se empleó y manipuló el análogo de las bolas de plastilina, apreciamos en el alumno Manu un razonamiento del que se derivaba una interesante conclusión: «las bolas con imanes se unen siempre con la misma orientación», y a partir de ella se formulaban preguntas en el sistema objeto: ¿se unen los átomos orientándose de alguna forma concreta?

Sin poder ignorar las dificultades que encontramos a la hora de evaluar en sentido estricto los logros alcanzados en esta dimensión, todo indica que fue la más compleja de las cuatro analizadas y en la que menos éxitos se alcanzaron. Solo evidenciamos un nivel avanzado para esta dimensión en 14 de los 35 alumnos que participaron, si bien la cifra ascendía a 24 (más de dos tercios del total) si contabilizáramos al alumnado de nivel básico.

VALORAR EL PAPEL DE LAS ANALOGÍAS COMO INSTRUMENTO DE RAZONAMIENTO (D4)

Esta dimensión incide en la valoración que los alumnos hacían de las analogías como instrumento que propicia el aprendizaje, la cual probablemente dependería no solo del nivel de ayuda que estas les proporcionaban como herramienta de comprensión, sino también del grado de consciencia mantenida sobre el valor de dicha aportación.

Para evaluarla, analizamos las respuestas de los alumnos a las preguntas correspondientes a la actividad sobre analogías realizada al finalizar el desarrollo de la unidad. En concreto, se les preguntó para qué pensaban que les habían servido las analogías y que indicaran ventajas e inconvenientes del uso de las analogías. Algunos alumnos también pusieron de manifiesto sus valoraciones en las entrevistas semiestructuradas realizadas al finalizar la unidad.

Un total de 23 de los 35 alumnos (casi dos tercios) reconocían explícitamente la utilidad de las analogías como instrumento de comprensión. Entre ellos se encuentra la alumna Inma, que afirma en varias ocasiones que las analogías le resultaron útiles para entender el cambio químico: «Más útil, porque me parece más fácil para comprender, la analogía del Lego. Todas me han parecido útiles... Ventaja: fácil de entender lo que ocurre en los cambios químicos» (portafolio de Inma).

Por su parte, Bea indica que la utilidad de la analogía reside en facilitar la comprensión de los conceptos estudiados, explicitando algunos de ellos en los que las analogías han resultado útiles: «Para entender mejor los cambios químicos, la conservación de la masa y para distinguir entre sustancia molecular y sustancia no molecular» (portafolio de Bea).

Para la alumna Lola la utilidad de las analogías radica en su potencial para comprender conceptos: «Para entenderlo mejor» (portafolio de Lola). Y, según afirma en la entrevista realizada, las analogías aportan claridad y ayudan a retener las ideas. Por otra parte, la analogía de las bolas incita su curiosidad.

Para Begoña, el uso de las analogías le ha facilitado recordar los conceptos: «Para recordar un poco el tema» (portafolio de Begoña). Por otra parte, afirma que es una forma de entender algo con ahorro de tiempo, y que ayudan a recordar conceptos y hacer el aprendizaje más sencillo: «Se ve muy brevemente, se recuerda fácilmente, es más sencillo» (portafolio de Begoña). Entendemos que al hablar de sencillez se refiere a que las analogías hayan favorecido la comprensión.

Por su parte, Charo, además de indicar que las analogías mejoran la comprensión, afirma también que facilitan el estudio; suponemos que se refiere a que ayudan a recordar los conceptos: «Son fáciles de comprender y ayudan a estudiar. No se me ocurren inconvenientes» (portafolio de Charo).

Nieves destaca de las analogías la facilidad de comprensión de los conceptos y la posibilidad de manejar conceptos conocidos para trabajar con otros que nunca ha visto: «Para comprender mejor los cambios químicos comparando cosas que tenemos siempre con algo que no hemos visto nunca» (portafolio de Nieves).

En el caso de Amina, las analogías ayudan a formar una imagen del objeto de estudio: «Te lo imaginas mejor todo» (portafolio de Amina).

En resumidas cuentas, las razones que aportan inciden en los siguientes aspectos:

- Aportan sencillez y claridad.
- Ayudan a formar una imagen del objeto de estudio.
- Permiten acercarse a cosas que nunca han visto.
- Ayudan a recordar conceptos.
- Ahorran tiempo.

Por otra parte, vemos que los alumnos se centran siempre en el proceso conceptual pero no en el procedimental ni en el actitudinal, facetas en las que el uso de analogías no llega a ser estimado, a excepción hecha del algún caso en el que se hace referencia a ellas como medio que despierta la curiosidad.

SÍNTESIS DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y PERSPECTIVAS FUTURAS

La hipótesis defendida a lo largo del artículo se sitúa en la línea de considerar que un entorno de trabajo en el aula basado en enfoques de modelización, articulado mediante la aplicación y uso de analogías, constituiría un contexto propicio para el uso y desarrollo de habilidades, destrezas y valores epistemológicos inherentes a los procesos de modelización en química. En este sentido, era nuestra intención mostrar cómo las actividades analógicas planteadas sirvieron para activar no solo conocimientos conceptuales relacionados con el tema objeto de estudio, sino también procedimientos y conocimientos epistémicos implicados en él.

Como se ha podido ver, un cierto porcentaje del alumnado, que oscilaba entre un tercio y dos tercios del total, según la dimensión considerada, alcanzaba un nivel de desempeño avanzado en su desarrollo. Tales cotas aumentaban hasta situarse entre cuatro y cinco de cada seis estudiantes, al ampliar el margen de referencia considerando al alumnado del nivel básico. De las cuatro dimensiones consideradas, parece que fue la tercera, relacionada con el manejo de las analogías aprendidas en situaciones de incertidumbre, la que más complejidad mostró, a tenor de la menor proporción de alumnos que alcanzaron un nivel avanzado.

Aunque estos resultados son alentadores, hemos de reconocer que el hecho de que los alumnos alcanzasen un nivel avanzado en la competencia correspondiente no implica que siempre su desempeño fuese el óptimo en todas las ocasiones posibles. Ello nos dice que, ni siquiera en el alumnado más aventajado, el éxito obtenido deba considerarse definitivo y extrapolable a todas las situaciones. En realidad, el desempeño del alumno depende de numerosos factores, entre ellos el potencial de cada actividad para promover su implicación en tareas de modelización auténticas. En este sentido, el uso de analogías en un marco de aprendizaje activo y participativo, el entorno colaborativo en el que trabajaron los alumnos y el papel mediador que ejerció la profesora participante pudieron ser una excelente combinación para promover que los alumnos trabajasen, como diría Vygotski (1979), en la zona de desarrollo próximo de su aprendizaje, al menos en buena parte de los casos.

Por otro lado, no podemos ignorar el dilema que se plantea al considerar si los niveles competenciales alcanzados fueron el resultado de la experiencia didáctica en la que participaron, o si ya se tenían antes de cursar la propuesta. De ahí que no estemos en disposición de precisar si el nivel de competencia de modelización mostrado por los alumnos fue el resultado del manejo de analogías, o si fue la competencia de modelización que ya traían la que contribuyó de forma favorable a un adecuado desempeño en el manejo de las analogías sugeridas. Desde nuestro punto de vista, es probable que ambas influencias se hayan dado, lo que no haría sino indicar que las capacidades y valores inherentes a los procesos de modelización y de razonamiento analógico se encuentran entroncados, de modo que al trabajar en el aula unos estaríamos también desarrollando otros.

De ahí que, en conjunto, consideremos que los datos obtenidos apoyen la hipótesis de que las analogías pueden constituir un recurso útil, no solo para el aprendizaje de los modelos de la ciencia escolar (Aragón, Oliva y Navarrete, 2013), sino también para el desarrollo de habilidades y destrezas que se relacionan con la competencia de modelización. Al menos en aquellas competencias que se sitúan en el plano de utilizar y aplicar los modelos aprendidos, que son las que hemos abordado aquí. En este sentido, el uso de analogías ofreció numerosas ocasiones para que los alumnos manejan procesos y evocaran valores epistémicos muy próximos a los que se ponen en juego en la actividad de modelización científica, esto es, «representar», «interpretar», «formular hipótesis», «usar pruebas», «valorar», etc.

Otras fases del itinerario de modelización no consideradas en este estudio, pero presentes en la jerarquía propuesta de Justi y Gilbert (2002), serían: aprender a criticar y revisar los modelos que ya conocen, aprender a reconstruir modelos ya existentes o aprender a crear modelos nuevos. Resultaría interesante analizar dichos niveles y comprobar si también en ellos el uso de analogías puede contribuir al desarrollo de las habilidades y destrezas correspondientes. Al mismo tiempo, sería importante investigar la incorporación de estos temas a la formación del profesorado, por cuanto el uso de analogías también reclamaría el desarrollo en el profesorado de competencias que favorezcan un uso de estas acorde con tales expectativas. Precisamente, ese será el objeto de nuestro estudio en futuras publicaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAGÓN, M.^a M.; OLIVA, J.M.^a y NAVARRETE, A. (2010). Analogías y modelización en la enseñanza del cambio químico. *Investigación en la escuela*, 71, pp. 93-114.
- ARAGÓN, M.^a M.; OLIVA, J.M.^a y NAVARRETE, A. (2013). Evolución de los modelos explicativos de los alumnos en torno al cambio químico a través de una propuesta didáctica con analogías. *Enseñanza de las Ciencias*, 31 (2), pp. 9-30.
- BAMBERGER, Y.M. y DAVIS, G.A. (2013). Middle-school science students' scientific modelling performances across content areas and within a learning progression. *International Journal of Science Education*, 35 (2), pp. 213-238.
<http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2011.624133>
- BARSALOU, L.W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 21, pp. 577-609.
- CAMACHO GONZÁLEZ, J.P.; JARA COLICOY, N.; MORALES ORELLANA, C.; RUBIO GARCÍA, N.; MUÑOZ GUERRERO, T. y RODRÍGUEZ TIRADO, G. (2012). Los modelos explicativos del estudiantado acerca de la célula eucarionte animal. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9 (2), pp. 196-212. Disponible en línea: <http://hdl.handle.net/10498/14729>.
- CHAMIZO, J.A. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7 (1), pp. 26-41. Disponible en línea: <http://hdl.handle.net/10498/9861>.
- DI SESSA, A.A. (2004). Metarepresentation: native competence and targets for instruction. *Cognition and Instruction*, 22 (3), pp. 293-331.
http://dx.doi.org/10.1207/s1532690xci2203_2
- HALLOUN, I.A. (2007). Mediated modelling in science education. *Science & Education*, 27 (2), pp. 663-697.
- HARRISON, A.G. y TREAGUST, D.F. (2000). A tipology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22 (9), pp. 1011-1026.
<http://dx.doi.org/10.1080/095006900416884>

- IZQUIERDO, M. y ADÚRIZ BRAVO, A. (2005). Los modelos teóricos para la ciencia escolar. Un ejemplo de química. Actas del VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*. Número Extra, pp. 1-4.
- JOHNSTONE, A.H. (1982). Macro and micro chemistry. *School Science Review*, 64, pp. 295-305.
- JUSTI, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (2), pp. 369-387.
- JUSTI, R. y GILBERT, J.K. (2002). Modelling teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), pp. 369-387. <http://dx.doi.org/10.1080/09500690110110142>
- JUSTI, R. y GILBERT, J.K. (2006). The role of analog models in the understanding of the nature of models in chemistry. En P.J. Aubusson, A.G. Uarrison, S.M. Ritchie y T. Seds (eds.). *Metaphor and analogy in science education*. Dordrecht: Springer, pp. 119-130.
- KEIG, P.F. y RUBBA, P.A. (1993). Traslations of representations of the structure of matter and its relationship to reasoning, gender, spatial reasoning, and specific prior knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, pp. 883-903. <http://dx.doi.org/10.1002/tea.3660300807>
- KERN, A.L.; WOOD, N.B.; ROEHRIG, G.H. y NYACHWAYA, J. (2010). A qualitative report of the ways high school chemistry students attempt to represent a chemical reaction at the atomic/molecular level. *Chemistry Education Research and Practice*, 11 (3), pp. 165-172. <http://dx.doi.org/10.1039/c005465h>
- KOZMA, R.B. y RUSELL, J. (1997). Multimedia and understanding: expert and novices responses to diferente representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, pp. 117-129.
- KOZMA, R.B. y RUSELL, J. (2005). Multimedia and understanding: expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, pp. 117-129.
- LEARNING OF IONIC BONDING: Analysis of A Case Study. *Research in Science Education*, 61, pp. 479-503.
- MADDEN, S.P.; JONES, L.L. y RAHM, J. (2011). The role of multiple representations in the understanding of ideal gas problems. *Chemistry Education Research and Practice*, 12, pp. 283-293. <http://dx.doi.org/10.1039/c1rp90035h>
- MERINO, C. y IZQUIERDO, M. (2011) Aportes a la modelización según el cambio químico. *Educación Química*, 22 (3), pp. 212-223.
- MORTIMER, E.F. (1998). Multivoicedness and univocality in classroom discourse: an example from theory of matter. *International Journal of science education*, 20 (1), pp. 67-68. <http://dx.doi.org/10.1080/0950069980200105>
- NERSESIAN, N.J. (2002). Maxwell and «the Method of Physical Analogy»: Model-based reasoning, generic abstraction, and conceptual change. En D. Malament (ed.). *Essays in the History and Philosophy of Science and Mathematics*. Lasalle, IL: Open Court, pp. 129-166.
- OLIVA, J.M. y ARAGÓN, M.^a M. (2007). Pensamiento analógico y construcción de un modelo molecular para la materia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(1), pp. 21-41. Disponible en línea: <http://reuredc.uca.es>.
- OLIVA, J.M. y ARAGÓN, M.^a M. (2009a). Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias: marco teórico. *Enseñanza de las ciencias*, 27 (2), pp. 195-208.
- OLIVA, J.M. y ARAGÓN, M.^a M. (2009b). Aportaciones de las analogías al desarrollo de pensamiento modelizador de los alumnos en química. *Educación Química*, 20, pp. 41-54.

- PRINS, G.T.; BULTE, A.M.; VAN DRIEL, J.H. y PILOT, A. (2009). Students' involvement in authentic modelling practices as contexts in chemistry education. *Research in Science Education*, 39, pp. 681-700.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11165-008-9099-4>
- RAVILOLO, A.; RAMÍREZ, P. y LÓPEZ, E.A. (2010). Enseñanza y aprendizaje del concepto de modelo científico a través de analogías. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(3), pp. 581-612.
<http://hdl.handle.net/10498/9814>
- SCHWARZ, C. (2002). Is there a connection? *The role of meta-modeling knowledge in learning with models. In the Proceedings of International Conference of Learning Sciences*. Seattle, WA.
- SCHWARZ, C.V.; REISER, B.J.; DAVIS, E.A.; KENYON, L.; ACHÉR, A.; FORTUS, D.; SCWARTZ, Y.; HUG, B. y KRAJCIK, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modelling; making scientific modelling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, pp. 632-654.
http://dx.doi.org/10.1207/s1532690xci2302_1
- SCHWARZ, C.V. y WHITE (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modelling. *Cognition and Instruction*, 23 (2), pp. 165-205.
<http://dx.doi.org/10.1002/tea.20311>
- SOLBES, J. (2013a). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (I): Introducción. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10 (1), pp. 1-10. Disponible en línea: <http://hdl.handle.net/10498/14993>.
<http://hdl.handle.net/10498/14993>.
- SOLBES, J. (2013b). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (II): Ejemplos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10 (2), pp. 171-181. Disponible en línea: <http://hdl.handle.net/10498/15113>.
<http://hdl.handle.net/10498/15113>
- SOLSONA, N.; IZQUIERDO, M. y JONG, O. (2003). Exploring the development of students' conceptual profiles of chemical change. *International Journal of Science Education*, 25 (1), pp. 3-12.
<http://dx.doi.org/10.1080/09500690010006536>
- TALANQUER, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry «triplet». *International Journal of Science Education*, 33 (2), pp. 179-195.
<http://dx.doi.org/10.1080/09500690903386435>
- VYGOTSKI, L.S. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Crítica.

Developing the modelling competence through the use and application of analogies around the chemical change

M.^a del Mar Aragón, J. M.^a Oliva-Martínez y A. Navarrete

Departamento de Didáctica, Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad de Cádiz. España.
mariadelmar.aragon@uca.es; josemaria.oliva@uca.es; antonio.navarrete@uca.es

The present study is a continuation of two previous papers that took modelling as a reference framework. The first (Oliva & Aragón, 2009a) discussed the role of analogies in learning the model of chemical change and their contribution to the learning of modelling. The second (Aragón, Oliva & Navarrete, 2013) examined the development of explanatory models in the area of chemical change through a curricular unit involving analogies aimed at secondary students.

This time, our interest is directed in order to analyze the role of analogies in the implementation and development of student skills and values that relate to modelling activities. The goal should be to teach students how to construct models (Justi & Gilbert, 2002), and to foster capabilities that are related to scientific inquiry (Halloun, 2007) and critical thinking about the knowledge that is being studied (Solbes, 2013a,b). More specifically, the processes that relate to the use and application of the chemical change model were evaluated, namely: D1. Represent both processes and systems through images and simulations; D2. Verbally interpret reality; D3. Apply the models learnt to situations of inquiry or uncertainty, and D4. Estimate the usefulness of models as rational and imaginative tools for understanding the world

The sample consisted of two class groups of Year-10 pupils (n=35) being taught Physics and Chemistry on a semester basis, having four hours of class a week. The students belonged to a state school in Cadiz (Spain). They were taught through a curricular unit using analogies as central and recurrent resource. The curricular unit consisted of sixteen 1-hour sessions, involving a sequence of tasks alternating between questions that the pupils had to find an answer to by working in small groups, the teacher's explanations, readings of short texts, simulations with analogical models, and discussions carried out in large groups. The students played an active, participatory role, being engaged in the learning process in general, and in the modelling processes in particular. In this approach, analogies ("fruits", "Lego pieces", "plasticine balls containing magnets", etc.) constituted not only a resource to facilitate the students' understanding of the different models of chemical change, but also served them to develop skills and values related to modelling. The idea was to try to involve students in their process of learning, through the use and application of analogies in the modelling tasks proposed.

The main instrument of the study consisted of a student's portfolio, which supplemented information from these other interviews, the teacher's diary and some audio recordings.

The nature of the research was primarily qualitative. All the information, both textual and in the form of drawings, was recorded and analysed. In order to assess student performance in each of the modelling dimensions considered, the ability of the student in indicators concerning the use and application of analogies were analysed. The indicators considered were the following:

<i>Dimensions</i>	<i>Indicators</i>
D1. Represent both processes and systems through images and simulations.	Represent analogical processes and systems
D2. Verbally interpret reality using models.	Verbally interpret reality using analogies.
D3. Apply the models learnt to situations of inquiry or uncertainty	Apply the models learnt in order to make predictions.
D4. Estimate the usefulness of models as rational and imaginative tools for understanding the world	Estimate the usefulness of models.

Not all students benefited equally from this scenario, although more than two thirds of them showed appropriate levels of modelling competence. Of the four dimensions considered, it seems like the third, related to the handling of analogies learned in situations of uncertainty, showed more complexity, according to the lower proportion of students at an advanced level.

In sum, we can assume that the use and application of analogies in a framework of active learning, the collaborative environment in which the pupils worked, and the monitoring role of the teacher could together constitute a good combination to allow the pupils to work, as Vygotsky (1978) might say, in the zone of proximal development. Hence, we consider that analogies are a potential mediatory resource in order to develop the competence of modelling in the students.