

## Modelización y Pensamiento Analógico en el Aprendizaje del Cambio Químico

### Modelagem e Pensamento Analógico na Aprendizagem da Noção de Reação Química

### Modeling and Analogical Thinking in Learning Chemical Change

José Maria Oliva  España

María del Maria Aragón-Méndez  España

En este artículo se analiza el desempeño del alumnado de tercer curso de educación secundaria obligatoria, en el manejo y construcción de analogías planteadas ante prácticas científicas de modelización en torno al cambio químico. El diseño didáctico propuesto utilizaba analogías como instrumento recurrente, en un ambiente de aprendizaje en el que se favorecía la participación de los estudiantes en la construcción de analogías, su aplicación a la interpretación y predicción de fenómenos y el establecimiento de límites de validez para cada una de ellas. La muestra estaba integrada por 35 estudiantes. El principal instrumento para la recogida de datos fue el porfolio, cuya información fue completada con la obtenida a través de entrevistas individuales semiestructuradas y transcripciones del diario del profesor-observador. Haciendo uso de técnicas de análisis cualitativo y cuantitativo, inicialmente se identificaron las destrezas y valores epistémicos movilizados a través de las analogías empleadas. A continuación se evaluó el desempeño del alumnado en cada una de dichas dimensiones, constatándose niveles elevados para una mayoría de ellos. Finalmente, se aportan datos que evidencian una importante unidad de constructo de las dimensiones consideradas, en estrecha conexión con la competencia de modelización en química. A partir de los resultados mostrados se plantean diversas implicaciones didácticas y algunos horizontes de investigación.

**Palabras claves:** analogías; cambio químico; modelos; modelización; pensamiento analógico.

Este artigo analisa o desempenho dos alunos no terceiro ano da educação secundária obrigatória, no manejo e construção de analogias pensadas para as práticas científicas de modelagem sobre as reações químicas. O desenho didático proposto usou analogias como instrumento recorrente, em um ambiente de aprendizagem favorecendo a

participação dos estudantes na construção de analogias, sua aplicação com o objetivo de interpretar e prever fenômenos e estabelecer limites de validade para cada um deles. A mostra foi composta por 35 alunos. O principal instrumento de coleta de dados foi o portfólio de alunos, sendo as informações obtidas complementadas com entrevistas semi-estruturadas individuais e transcrições do diário do professor-observador. Fazendo uso das técnicas de análise qualitativas e quantitativas, inicialmente foram identificadas as destrezas e valores epistêmicos mobilizados pelas analogias usadas. Em seguida, o desempenho dos alunos em cada uma dessas dimensões foi avaliado, tendo sido constatados níveis elevados para a maioria deles. Finalmente, os dados sobre uma importante unidade de constructo das dimensões consideradas foram fornecidos em estreita conexão com a competência da modelagem química. A partir dos resultados, surgem várias implicações didáticas e alguns novos horizontes de investigação.

**Palavras-chave:** analogias; reação química; modelos; modelagem; pensamento analógico.

This article analyses the students' performance using and constructing analogies in scientific practices of modelling around the chemical change. The didactic proposal followed, with frequent use of analogies, favored student participation in the construction of analogies, its application to the interpretation and prediction of phenomena and the establishment of limits of validity for each one. The sample was constituted by 35 students in their 3rd year of compulsory secondary education (14–15 years of age). The principal instrument of data collection was the portfolio, complemented for an individual interview and the teacher's diary. Using qualitative and quantitative methods of data analysis, firstly skills and epistemic values are identified; secondly, students' achievement for each of these dimensions is valued and high levels are observed in many of them; lastly it is provided information on an important construct unit of the considered dimensions in closed conjunction with chemistry modelling. From the results, there are posed several didactic implications and some vistas for research.

**Keywords:** analogies; analogical thinking; learning chemical change; models; modelling.

## Introducción

Las analogías y metáforas constituyen ingredientes importantes en el proceso de elaboración del conocimiento en la ciencia, en general, y en la química, en particular. Prueba de ello es que muchos de los modelos son de naturaleza analógica o metafórica: modelo de “pudding de pasas”, “ley de las octavas” de Newlands, “efecto invernadero”, etc. Además, en la propia enseñanza de la química, la analogía juega un papel esencial (Mendonça, Justi, Oliveira, 2006; Oliva, & Aragón, 2009; Raviolo, 2009), siendo un recurso frecuente en el proceso de trasposición didáctica que convierte el conocimiento químico en conocimiento escolar. Por tanto, disponer por parte del profesor de un buen conjunto de analogías para distintos temas curriculares, resulta un componente

importante del conocimiento didáctico del contenido de los docentes (Raviolo, & Garrtiz, 2007).

Sin embargo, la investigación realizada en los últimos años muestra que no es suficiente con que el profesor presente buenas analogías a sus alumnos, sino que es necesario que los estudiantes participen activamente en su proceso de construcción, por ejemplo analizando y verbalizando el significado de cada una, aplicándola para hacer predicciones, delimitando su utilidad y sus limitaciones, o incluso interviniendo parcial o totalmente en su proceso de elaboración (Mozzer, & Justi, 2009; Oliva, 2004).

Todo ello exige disponer de destrezas y valores epistémicos, como capacidad de análisis de las relaciones entre conceptos que intervienen (tanto en el objeto como en el análogo), capacidad para formular hipótesis, pensamiento crítico para establecer ventajas y límites, o iniciativa y creatividad para imaginar ideas útiles para la construcción de analogías que no son proporcionadas íntegramente por el profesor. Es evidente que cualquier metodología de enseñanza que recurra a analogías según esta perspectiva, basará en gran parte su éxito en aportar escenarios en los que se practiquen estas capacidades y que posibiliten un desarrollo efectivo de las mismas, todas ellas muy próximas a aquellas que soportan procesos de modelización en ciencias.

En este trabajo se analiza el desempeño de estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria en el manejo de analogías en torno al cambio químico, en un contexto de trabajo como el que acabamos de sugerir. Se trata de comprobar, de un lado, la potencialidad y viabilidad de estos enfoques, y por otro de comparar entre sí el desempeño en distintas dimensiones de la modelización, estudiando posibles conexiones entre ellas. Este estudio completa otro realizado anteriormente (Aragón, Oliva, & Navarrete, 2014), en el que ya se mostraba el potencial de las analogías en tareas de modelización en química, para el caso particular de la aplicación de analogías en la comprensión de fenómenos. En este caso, se amplía el panel de dimensiones a considerar, y se estudia además la posible vinculación existente entre todas ellas.

## Marco teórico

Adoptamos el marco de la modelización como fundamento de estudio y para situar el papel de las analogías en el aprendizaje de las ciencias.

Modelizar supone una actividad esencial dentro del aprendizaje de las ciencias (Harrison, & Treagust, 2000; Izquierdo, & Adúriz Bravo, 2005) y constituye además una actividad capaz de aglutinar en torno a ella a la mayoría de competencias científicas que se promueven hoy dentro del currículo de ciencias (Justi, 2015; Oversby, 1999). En este sentido, permite la integración de otros tipos de perspectivas didácticas, como las basadas en la argumentación (Jiménez-Aleixandre, 2010; Justi, 2015; Passomore, & Smoboda, 2012), en la indagación (Domènech, 2015; Martínez-Chico, Jiménez-Liso, & López-Gay, 2015) o en la contextualización de conocimientos (Izquierdo, 2004).

Pero modelizar es un proceso complejo y su desarrollo exige toda una gama de destrezas y valores epistémicos (vanDriel, & Verloop, 1999; Grosslight, Unger, Jay, &

Smith, 1991; Halloun, 2007; Harrison, & Treagust, 2000; Justi, & Gilbert, 2002; Prins, Bulte, Van Driel, & Pilot, 2009). De ahí que la competencia de modelización (Lopes, & Costa, 2007; Nicolau, & Constantinou, 2014) deba entenderse como conjunto de conocimientos, habilidades, destrezas y valores necesarios para llevar a cabo la tarea de modelizar en su dimensión más amplia (Justi, & Gilbert, 2002), no solo se trataría de aprender los modelos de la ciencia escolar, sino también trabajar con ellos, elaborarlos y revisarlos, así como hablar y opinar acerca de los mismos, entendiendo su valor, su utilidad, su carácter aproximativo y cambiante y, también, sus limitaciones.

En consecuencia, un aspecto importante de la enseñanza de las ciencias debería ser promover en los alumnos las capacidades y valores necesarios para la tarea de modelizar (Harrison, & Treagust, 2000; Justi, & Gilbert, 2002; Izquierdo, & Adúriz-Bravo, 2005; Chamizo, 2010; Camacho et al. 2012), dado que las mismas pueden ser desarrolladas mediante el proceso de enseñanza (Bamberger, & Davis, 2013; Mendonça, & Justi, 2011; Halloun, 2007; Prins et al, 2009; Madden, Jones, & Rahm, 2011; Schwarz, 2002; Schwarz, & White, 2005). En este sentido, la competencia de modelización en el alumnado podría emerger como consecuencia de la participación activa de los estudiantes en prácticas de modelización y del consiguiente análisis reflexivo promovido tanto desde un punto de vista metacognitivo como desde una perspectiva de metamodelización acerca la naturaleza y utilidad de los modelos (Nicolau, & Constantinou, 2014; Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2004).

Modelizar abarcaría, por tanto, prácticas de modelización y de metaconocimiento. Las primeras de ellas entendidas en términos de uso de destrezas que permiten a una persona usar reflexivamente y expresar una variedad de representaciones y modelos, y las segundas como actividad metacognitiva y conjunto de conocimientos epistémicos que posibilitan tanto gestionar el uso de diferentes modelos como percibir adecuadamente la naturaleza y el alcance de cada uno (Disessa, 2004; Kozma, & Russell, 1997; Nicolaou, & Constantinou, 2014; Schwarz, 2002).

Estas dos componentes no tendrían por qué ser independientes, sino partes de un tronco común. En este sentido hay hoy cierta evidencia que sugiere la existencia de puentes y conexiones entre todos estos elementos, apuntando hacia una cierta unidad de constructo. Por ejemplo, Smith, Snir, y Raz (2002) encontraron que en la medida en que los estudiantes son conscientes de la utilidad de los modelos y de que estos pueden ser evaluados en función de cómo encajan con la evidencia, son más capaces también de emplearlos para explicar evidencias y datos, así como para comprender qué modelo es el más apropiado en una determinada situación. Por su parte, Sins, Savelsbergh, van Joolingen, y van Hout-Wolters (2009) estudiaron la relación entre la comprensión epistemológica de los alumnos acerca de los modelos manejados en las clases y sus habilidades de procesamiento cognitivo en las tareas desarrolladas. Los resultados mostraron una correlación positiva entre ambas variables. Por otro lado, Cheng y Lin (2015) estudiaron la posible relación existente entre las visiones de los alumnos acerca de los modelos científicos y los modelos que ellos mismos generaron acerca de

fenómenos que se les presentaron. Dichos autores encontraron una correlación positiva entre la comprensión de los estudiantes acerca de la naturaleza de los modelos y su habilidad para desarrollar modelos, lo que indica cierta vinculación entre prácticas de modelización y conocimientos de metamodelización. Finalmente, Oliva, Aragón, & Cuesta (2015) realizaron un estudio empírico en el campo concreto de la modelización del cambio químico, observando que las distintas dimensiones vinculadas a prácticas de modelización y a metaconocimiento convergían significativamente mostrando la existencia de una importante unidad de constructo entre todas ellas. De hecho, en el referido estudio pudo comprobarse que la modelización del cambio químico requiere de una serie de conocimientos, destrezas y valores epistémicos, de modo que la resolución de cualquier tarea de esta naturaleza requería la aplicación conjunta de una cierta variedad de tales dimensiones (Figura 1).

<b>Dimensión</b>	<b>Definición</b>
Formular y expresar verbalmente los modelos aprendidos	Comprender y expresar en cada uno de los tres niveles de representación: macroscópico, submicroscópico y simbólico
Manejar diferentes modelos diferenciando unos de otros	Comprender y manejar más de un nivel de representación, siendo capaz de diferenciar unos de otros
Estimar la utilidad de los modelos	Valorar los modelos aprendidos como herramientas racionales para comprender el mundo
Representar procesos y/o sistemas a través de imágenes y simulaciones	Representar fenómenos a escala submicroscópica usando diagramas, dibujos o modelos mecánicos
Interpretar la realidad de forma verbal	Expresar verbalmente explicaciones sobre los fenómenos considerados, ya sea a escala macroscópica o submicroscópica
Aplicar los modelos aprendidos en situaciones de incertidumbre	Diseñar y desarrollar experimentos mentales y simulaciones para imaginar situaciones no conocidas de antemano
Reconocer el carácter aproximado y limitado de los modelos	Reconocer que los modelos no son copias exactas de la realidad, sino representaciones y aproximaciones de la misma
Establecer límites de validez de los modelos	Identificar los límites específicos de validez de los modelos aprendidos
Aceptar la naturaleza provisional y cambiante de los modelos	Apreciar la naturaleza provisional y cambiante de los modelos a lo largo del tiempo
Gestión de los diferentes modelos o representaciones disponibles	Elegir diferentes modelos o representaciones en función del contexto
Proporcionar ideas que, con la ayuda necesaria, sirvan para generar nuevos modelos	Realizar aportaciones significativas durante la elaboración y desarrollo en el aula del modelo estudiado
Idear maneras de representar los sistemas con los que se trabaja	Aportar ideas útiles para construir sistemas de representación de objetos y procesos

**Figura 1.** Dimensiones que componen la modelización en torno al cambio químico, de acuerdo a los distintas categorías de modelización

Por otro lado, se considera además que algunas de las capacidades y valores que integran la competencia de modelización podrían ser comunes también a las actividades de pensamiento analógico, lo que significaría que el uso de analogías y del pensamiento analógico serían factores que contribuirían al desarrollo de la competencia de modelización. Si esto fuera así, tal vez sería posible transponer esas mismas dimensiones al ámbito del pensamiento analógico, identificando una serie de dimensiones semejantes ante tareas de uso y construcción de analogías en el aula. Dicha transposición, posible a nuestro juicio gracias a la existencia de mecanismos comunes entre pensamiento analógico y actividad de modelización (Oliva y Aragón, 2009), constituirá la base, como veremos más adelante, para delimitar el sistema de categorías empleado en la categorización de información en el presente estudio.

## Contexto de la investigación

El contexto de investigación se sitúa en el proceso de implementación de una propuesta didáctica a nivel de tercer curso de Educación Secundaria Obligatoria que utilizaba analogías como instrumento recurrente dentro de un proceso de enseñanza focalizado hacia la modelización en química (Justi, & Gilbert, 2002). Dicha propuesta, desarrollada a través de una trama de actividades a lo largo de 16 sesiones de una hora, ha servido como escenario para la toma de datos. Los contenidos y objetivos planteados, así como el tipo de planteamiento metodológico seguido y la trama de actividades propuestas, han sido descritos en diversos trabajos (Aragón, Oliva, & Navarrete, 2010, 2013; Oliva, & Aragón, 2009). La Figura 2 reproduce de forma muy sintética la naturaleza de las tareas abordadas en las distintas sesiones, mientras que el Anexo 1 muestra la trama de contenidos abordados siguiendo un esquema basado en un ciclo de modelización (Justi, & Gilbert, 2002; Justi, 2006).

Sesión	Tareas planteadas
1	Planteamiento de la finalidad de la unidad. Establecimiento de analogías para facilitar la elaboración de un primer modelo mental.
2	Realización de experiencias sobre el cambio químico. Reelaboración de un modelo macroscópico del cambio químico.
3	Introducción a un modelo submicroscópico del cambio químico mediante el establecimiento de analogías. Establecimiento de un modelo atómico (modelo de Dalton con modificaciones). Iniciación de las representaciones simbólicas.
4	Profundización en el modelo submicroscópico del cambio químico. Uso de analogías para establecer modelos de representación.
5 y 6	Representación de diferentes sistemas materiales haciendo uso de los modelos simbólicos establecidos, sustancias elementales y compuestas, sustancias atómicas y moleculares, sustancias en diferentes estados.
7 y 8	Representación del cambio químico mediante los modelos simbólicos establecidos. Relación entre los modelos simbólicos y el modelo submicroscópico.

**Figura 2.** Tareas implicadas en las diferentes sesiones de la unidad

Sesión	Tareas planteadas
9	Profundización en el modelo submicroscópico -modelo de colisiones-, mediante una actividad analógica.
10, 11	Aplicación de los modelos en la interpretación de cambios. Identificación de limitaciones de los modelos.
12, 13	Actividades de evaluación de los alumnos y del proceso seguido hasta este momento.
14	Aplicación de los modelos para realizar predicciones y llevar a cabo experimentos mentales sobre la problemática de la conservación de la masa.
15	Diseño y realización de una actividad experimental como proceso de verificación de los modelos
16	Aplicación de los modelos para realizar predicciones sobre la velocidad de reacción. Verificación de modelos. Actividad de síntesis. Rango de validez y limitaciones de los modelos sobre el cambio químico.

**Figura 2.** Tareas implicadas en las diferentes sesiones de la unidad

El enfoque didáctico adoptado puede situarse dentro del marco socio-constructivista, en el que el alumno juega un papel activo y participativo, implicándose en el proceso de aprendizaje, en general, y en los procesos de modelización, en particular. Dicha participación estuvo canalizada a través del trabajo colectivo en pequeño y gran grupo, favoreciéndose la discusión de los modelos que se iban generando a partir de los modelos de partida.

En la propuesta se alternaban cuestiones que los alumnos debían resolver en pequeño grupo, explicaciones del profesor, pequeñas lecturas de textos escritos, desarrollo de simulaciones con modelos analógicos y discusiones desarrollados en gran grupo.

En ella las analogías y el uso de modelos mecánicos suponían una herramienta útil como hilo conductor del tema, para un primer acercamiento a la representación submicroscópica de la materia y para establecer y manejar sistemas de representación del cambio químico. Tanto los modelos mecánicos como las analogías empleadas sirvieron no solo como recurso para facilitar la comprensión del alumnado sobre los distintos modelos de cambio químico (macroscópico, submicroscópico, simbólico), sino además para que desarrollasen capacidades y valores relacionados con la modelización: aplicar modelos, estimar su utilidad y sus limitaciones, demarcar sus límites y participar en la construcción de nuevos modelos distintos a los mantenidos inicialmente. Con todo ello pretendíamos acercarnos a procesos de modelización analógica llevada a cabo por los propios estudiantes (Mozzer, & Justi, 2009).

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, al objeto de visualizar la idea de átomos y moléculas discretas, así como para utilizar una simbología ideada por los alumnos para representarlos; b) las piezas

del juego del Lego, para representar la idea de átomo, molécula y red, así como simular los procesos de construcción y reconstrucción de moléculas durante el cambio químico; c) 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 (Anexo 2). 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 de un núcleo común de capacidades y valores inherentes a los procesos de pensamiento analógico y a los de modelización (Oliva, & Aragón, 2009).

## **Diseño de investigación**

Como señalábamos anteriormente, el presente estudio investiga el desempeño de los participantes a lo largo de la experiencia en el manejo y elaboración de analogías en torno al cambio químico. Más concretamente, las cuestiones de investigación fueron las siguientes:

- 1.- ¿Cómo movilizaron los estudiantes las dimensiones del pensamiento analógico previstas para la competencia de modelización en química, a lo largo de la unidad didáctica?
- 2.- ¿En qué dimensiones mostraron mayor nivel de desempeño y en cuáles niveles más bajos?
- 3.- ¿Se tratan todas ellas de dimensiones independientes o se vinculan entre sí dando sentido a que se hable de una competencia única?

La información que proporcionamos está extraída de dos aulas completas de estudiantes de un mismo centro de Secundaria, 35 en total, de los que 24 fueron chicas y 11 chicos. Ambos grupos eran muy similares en cuanto a rendimiento en ciencias y nivel socioeconómico, y se eligieron por razones de conveniencia en virtud de su accesibilidad por corresponder a aulas donde impartía sus clases uno de los autores, que adoptó el rol de participante-observador. 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.

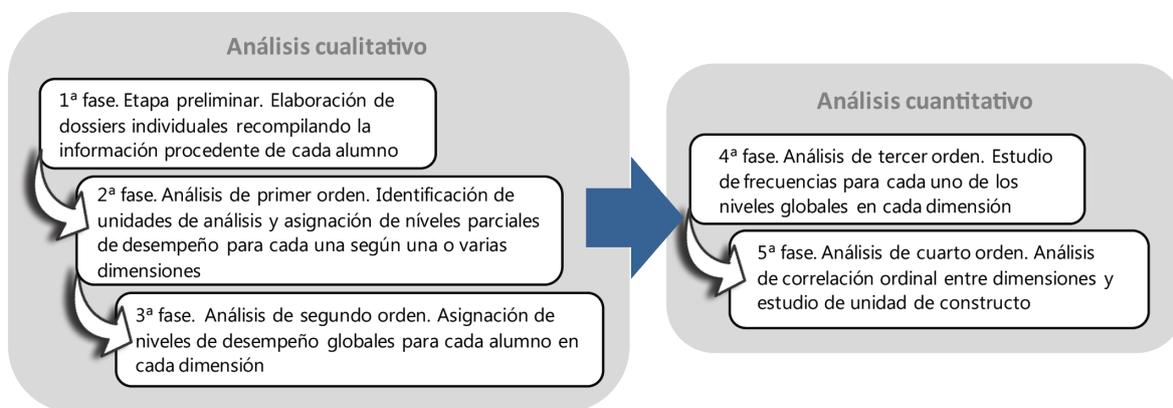
El proyecto de investigación fue, en primer lugar, presentado en el Departamento de Física y Química del centro escolar, quedando incorporado a la Programación Didáctica. En segundo lugar, fue presentado en el Consejo Escolar del centro (órgano formado por representantes de los distintos sectores de la comunidad educativa, incluidos padres y estudiantes), donde se aprobó su puesta en marcha. Además, los estudiantes fueron informados de que participaban en una investigación y del uso de sus resultados como instrumentos para la investigación. Todos mostraron su acuerdo

con ambas intenciones. Al objeto de garantizar el anonimato de los estudiantes, a efectos de la presentación de los resultados del estudio, sus nombres fueron reemplazados por otros nombres ficticios.

Para valorar el desempeño en tareas de manejo y elaboración de analogías se ha recurrido al análisis de las producciones escritas de los alumnos procedentes de las tareas desarrolladas durante las 16 sesiones de la unidad y de una actividad final que comprendía cuestiones sobre la comprensión de las analogías, su aplicación y una valoración de las mismas. El instrumento fundamental del estudio fue el portafolio del alumno, como documento en el que se reflejan las producciones de los estudiantes ante actividades desarrolladas en el aula. La información recopilada a través de esta vía fue completada con informaciones obtenidas a través de entrevistas individuales semiestructuradas y transcripciones extraídas del diario del profesor-observador. La entrevista semiestructurada se basaba en la resolución de un problema sobre la proporcionalidad de las masas de los elementos que constituyen un compuesto – contenido no abordado durante la propuesta–, en concreto, predecir la cantidad de sulfuro de hierro que se forma a partir de dos cantidades de hierro y azufre. Los alumnos debían hacer uso de una analogía elegida por ellos mismos. La profesora comenzaba enunciando el problema, realizando comentarios y preguntas para crear una atmósfera distendida y verificar la comprensión del problema. Los estudiantes iban resolviendo la cuestión propuesta, solicitando en ocasiones ayuda a la profesora. La profesora intervenía pidiendo que explicitasen los razonamientos o hacía preguntas que les ayudase a avanzar. Finalmente, se les pidió que valorasen la utilidad de las analogías usadas en el aula.

El tratamiento y análisis de datos se ha realizado en cinco fases, una de ellas preliminar preparatoria y las demás destinadas al estudio de resultados según análisis de distinto orden de la información recopilada. Las tres primeras fases (análisis preliminar y análisis de primer y segundo orden) fueron de carácter cualitativo, mientras que las dos restantes (análisis de tercer y cuarto orden) lo fueron de tipo cuantitativo (Figura 3).

En la fase de preparación, la información cualitativa obtenida a partir de distintos instrumentos de recogida de datos, fueron recopilados y estructurados en forma de dossiers, uno para cada estudiante.



**Figura 3.** Fases de la investigación

Dichos documentos sirvieron de base más tarde, en la segunda fase, para un análisis de contenido, para el que se definió un conjunto marco de dimensiones de análisis y se segmentó la información procedente de cada uno de los dossiers en función del tipo de dimensión con la que se relacionaba. Las dimensiones se formularon a partir de una adaptación del esquema propuesto por Oliva, Aragón, y Cuesta (2015) para analizar las componentes de la competencia de modelización. Para cada una de las doce dimensiones correspondientes se formuló su homóloga adaptándola al contexto concreto que nos ocupa en este estudio que es el aprendizaje y uso de analogías (ver Figura 4). Todas las dimensiones de modelización fueron transpuestas al plano analógico, a excepción hecha de la capacidad relativa a admitir el carácter provisional de los modelos científicos, para la que no encontramos ninguna homóloga en el pensamiento analógico. Con estos criterios se identificaron, dentro de cada dossier, segmentos de información que ilustraban evidencias del desempeño mostrado por el alumnado en cada una de las dimensiones consideradas.

Estos segmentos consistían, en unos casos, en fragmentos de texto verbal registrado a través de alguno de los instrumentos de recogida de datos, en otros consistían en dibujos o esquemas gráficos, y en los restantes se correspondían con combinaciones de ambas modalidades de representación.

<b>Dimensiones de la modelización</b>	<b>Dimensiones del pensamiento analógico</b>
Formular y expresar verbalmente los modelos aprendidos.	D1. Formular y expresar las analogías aprendidas, explicitando las relaciones entre ideas.
Manejar diferentes modelos diferenciando unos de otros.	D2. Conocer distintas analogías para representar un mismo sistema, diferenciando unas de otras.
Estimar la utilidad de los modelos.	D3. Estimar la utilidad de las analogías como instrumento de comprensión.
Representar procesos y/o sistemas a través de imágenes y simulaciones.	D4. Representar sistemas y procesos analógicos.
Interpretar la realidad de forma verbal.	D5. Interpretar la realidad de forma verbal usando analogías.
Aplicar los modelos aprendidos en situaciones de incertidumbre.	D6. Realizar predicciones y/o experimentos mentales usando analogías.
Reconocer el carácter aproximado y limitado de los modelos.	D7. Reconocer el carácter figurado de la analogía y la existencia de límites de validez.
Establecer límites de validez de los modelos	D8. Asumir y establecer los límites de validez para una analogía dada.
Aceptar la naturaleza provisional y cambiante de los modelos científicos.	No encontramos correspondencia.
Gestión de los diferentes modelos o representaciones disponibles.	D9. Gestionar el uso de las analogías de que se dispone en función de las circunstancias.
Proporcionar ideas que, con la ayuda necesaria, sirvan para generar nuevos modelos.	D10. Aportar ideas, ante analogías incompletas sugeridas por el profesor.

**Figura 4 .** Transposición al pensamiento analógico de las dimensiones de modelización

Dimensiones de la modelización	Dimensiones del pensamiento analógico
Idear maneras de representar los sistemas con los que se trabaja.	D11. Delimitar formas de representación dentro del análogo para los sistemas con los que se trabaja.

**Figura 4 .** Transposición al pensamiento analógico de las dimensiones de modelización

En esta misma fase del estudio se categorizaron los segmentos de información identificados según un sistema de categorías que contemplaba tres tipos de desempeño para cada dimensión:

- Desempeño tipo-A: alude a ocasiones en las que el estudiante maneja adecuadamente, y de forma coherente con la práctica de modelización implicada, ideas, razonamientos, valoraciones y/o conclusiones.
- Desempeño tipo-C: en donde el estudiante, por el contrario, muestra un desempeño deficiente e inadecuado, ya sea por implicar ideas, razonamientos o valoraciones alejadas de aquellas que serían deseables, y/o por responder a planteamientos sumamente incompletos o difusos.
- Desempeño tipo-B: se corresponde con segmentos que evidencian un desempeño intermedio entre ambos.

Lo habitual fue que cada segmento de información quedase categorizado según una o dos dimensiones, como mucho, pudiendo encuadrarse en categorías de análisis distintas en dimensiones diferentes. Así, por ejemplo, para un mismo segmento era posible alcanzar un desempeño tipo-A en una determinada dimensión, y sin embargo ser clasificado en la categoría tipo-C en otra dimensión distinta.

Por otro lado, dado que para cada estudiante, y en una misma dimensión, se identificaron varios segmentos de información a lo largo de distintas actividades de la secuencia didáctica, fue preciso en una tercera fase asignar para cada alumno un nivel global de desempeño por dimensión. Conviene advertir en este sentido que para cada dimensión se observaron mejoras parciales en los alumnos en estos niveles de progresión a lo largo del desarrollo de la unidad didáctica. No obstante, como no era objeto de este estudio analizar la evolución al respecto 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. Para ello se recurrió a rúbricas de cuatro niveles, siguiendo procedimientos similares a los adoptados o sugeridos por otros autores en estudios de otra naturaleza (Kozma, & Rusell, 2005; Madden, Jones, & Rahm, 2011; Nicolaou, & Constantinou, 2014; Schwarz et al., 2009):

Nivel I: no se evidencia la capacidad a lo largo de la secuencia didáctica; ello se manifiesta en desempeños generalizados tipo C o, simplemente, la ausencia de evidencia alguna.

Nivel II: Aparecen indicios mínimos de desempeño, pero con notables carencias e

insuficiencias. Pueden alternarse desempeños tipo C y tipo B.

Nivel III: Aparecen sistemáticamente desempeños tipo B, aunque puntualmente pueda aparecer algún episodio de desempeño tipo A.

Nivel IV: la capacidad analizada se manifiesta siempre o casi siempre conforme a desempeños tipo A.

Estas tres primeras fases sirvieron para abordar la primera cuestión de investigación. A lo largo de ella, el proceso de análisis fue llevado a cabo por dos investigadores, que continuamente negociaron los criterios de identificación y asignación de niveles de desempeño parciales y globales, hasta alcanzar consensos en aquellos casos en los que no había acuerdo inicial.

En la cuarta fase se procedió ya a un análisis cuantitativo mediante un estudio de las distribuciones de frecuencias correspondientes a cada dimensión. Dicha fase sirvió de base para la cuestión de investigación número dos.

Finalmente, en la quinta fase, se analizó cuantitativamente la conexión entre dimensiones, para lo que se recurrió a análisis de correlación y de correspondencias múltiples para datos ordinales aplicados a las rúbricas desarrolladas, respondiendo así a la cuestión tres.

## Resultados

Centraremos nuestra exposición de resultados en las fases 2, 4 y 5 de la investigación, la primera de ellas, recordemos, dedicada a aportar datos cualitativos acerca de las prácticas desarrolladas en el aula en el ámbito del pensamiento analógico (cuestión 1 de investigación), mientras que las otras dos (fases 4 y 5) orientadas a ofrecer datos cuantitativos en torno a los niveles de desempeño mostrados en cada una (cuestión 2 de investigación) y sobre las conexiones entre ellas (cuestión 3 de investigación), respectivamente.

### Ejemplos de prácticas de pensamiento analógico promovidas (fase 2)

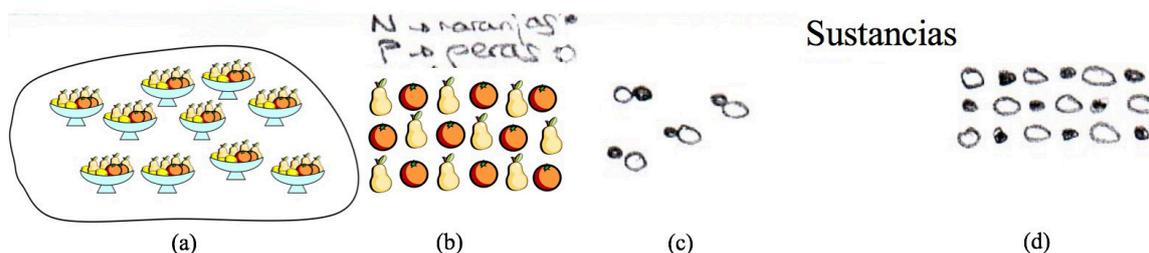
Esta fase se dirige a categorizar los distintos segmentos de información obtenidos para cada alumno y dimensión. En todas las dimensiones analizadas encontramos segmentos de análisis de los tres tipos de desempeño delimitados para las producciones de los estudiantes en tareas puntuales. Aunque sería interesante ilustrar casos concretos de codificaciones para cada dimensión, ello rebasaría con mucho el espacio disponible para el artículo. No obstante, sí podemos ofrecer casos concretos que ilustren por un lado el tipo de datos manejados, por otro den testimonio de la potencialidad del diseño aplicado, y finalmente ayuden a entender mejor el proceso de categorización global llevado cabo para los niveles de desempeño. Concretamente, nos apoyaremos en dos casos, uno referido a la dimensión de “Formular y expresar la analogía aprendida y las relaciones subyacentes” y el otro a la de “Gestionar el uso de analogías”.

## Formular y expresar la analogía aprendida y las relaciones subyacentes (D1)

En este ejemplo nos basaremos en los resultados obtenidos en la analogía de las frutas, concretamente en una actividad destinada a explicitar el sentido de la misma a través de la explicación de las relaciones presentes entre los elementos del objeto y del análogo. Más concretamente, se trataba de que los estudiantes comparasen sistemas de frutas y fruteros con átomos y moléculas, así como su relación con la composición de sustancias moleculares y reticulares.

Algunos alumnos mostraron un desempeño adecuado en esta analogía, siendo capaces de expresar el significado de la misma y explicitar las relaciones que la sustentan. Es el caso de Inma, quien en esta actividad logra establecer las principales relaciones de semejanza entre objeto y análogo, y llega a formular además relaciones adecuadas entre objeto y análogo, completando sus argumentos con un dibujo ilustrativo (Figura 5):

Hay un número concreto de frutas en cada frutero y hay un número concreto de átomos en cada molécula... La frutas representan los átomos... En el primer dibujo (Figura 5a) las frutas están repartidas en forma semejante en cada frutero y en el segundo dibujo (Figura 5b) las frutas no se distribuyen en fruterios... En las sustancias, el primer dibujo (Figura 5c) hay el mismo número de átomos en cada molécula y en el segundo [Figura 5d] los átomos están distribuidos de forma no molecular (Inma. Portafolios: actividad final).



**Figura 5.** Representaciones proporcionadas de la analogía de las frutas

Puede verse que no solo relaciona elementos de uno y otro ámbito, sino que es capaz de extraer conclusiones en cuanto a las diferencias entre sustancias moleculares y reticulares. Por ello, su actuación ante esta analogía fue categorizada como tipo-A.

En cambio, otros alumnos mostraron en esta analogía dificultades para evidenciar una actuación competente en el manejo de la misma. Es el caso de Sara, quien no llega a establecer con claridad relaciones de semejanza entre ambos sistemas, siendo algunas de sus afirmaciones inadecuadas desde el punto de vista del mensaje que la analogía pretendía presentar. Así, al comparar sistemas de frutas y fruteros con átomos y moléculas, incurre en cierta indefinición a la hora de explicar las diferencias en la estructura de sustancias moleculares y reticulares:

[Los fruterios] están formados por frutas distintas pero las frutas de los otros fruterios son iguales. Están formados por las mismas frutas... Las moléculas están formadas por grupos de átomos. Hay sustancias moleculares y no moleculares, al igual que las frutas, los átomos que forman una molécula son iguales (Sara. Portafolio: actividad final).

Así, cuando indica que “hay sustancias moleculares y no moleculares al igual que las frutas”, establece una relación carente de sentido por estar incompleta. Y al decir que “los átomos que forman una molécula son iguales” expresa una relación falsa entre átomos y moléculas. Únicamente expresa una relación que es aceptable, al decir que el frutero está formado por frutas y las moléculas por átomos: “El frutero está compuesto de muchas frutas y muy variadas. La molécula está compuesta de átomos”. Por ello, su actuación ante esta analogía fue catalogada de tipo-C.

Por otro lado, también se observaron estudiantes que mostraban un desempeño intermedio (tipo-B), casos en los que se llegaban a explicitar la mayoría de relaciones entre el objeto y el análogo, aunque en ocasiones se manifestasen incompletas y, por momentos, confusas desde el punto de vista del uso del vocabulario correspondiente a los dominios del objeto y del análogo.

Es el caso de Nieves quien, en esa misma analogía, es capaz de comparar internamente los elementos de cada par fruta/frutero y átomo/molécula, pero sin llegar a establecer conexiones entre elementos análogos de ambos pares: fruta con átomo y frutero con molécula. No establece conexiones entre el objeto y el análogo, sino que compara la primera y segunda forma de agrupación de elementos para cada dominio; así dice refiriéndose a las frutas que:

El primero está en conjunto y el segundo también, pero separados... Las dos están formadas por sustancias diferentes... Hay diferentes sustancias en los dos casos (Nieves. Portafolio: actividad final).

La entrevista semiestructura realizada nos aporta información en el mismo sentido sobre el nivel de pensamiento analógico mostrado por Nieves, llegando ella misma a manifestar sus dificultades al explicitar las relaciones entre el objeto y el análogo, aunque es capaz hacer uso de la analogía.

Docente– ¿Puedes representar la formación del sulfuro de hierro usando las fichas?

Nieves– A ver, bueno voy cogiendo una de cada, una verde y una amarilla. Una y una y las junto. Ahora otra.

(Nieves continúa uniendo fichas de dos en dos)

Nieves– Ya está, y me sobran de las amarillas, que eran las del azufre.

Docente– Puedes hacer el razonamiento diciéndome como relacionas las fichas de colores con los átomos.

Nieves– Voy a intentarlo, pero me cuesta mucho.

Concluimos por tanto que tiene dificultades para expresar verbalmente la analogía de las fichas y la analogía visual que ella misma realiza para el caso de la analogía del frutero.

## Gestionar el uso de diferentes analogías (D9)

Esta capacidad se relaciona con la posibilidad de que los alumnos sepan elegir una analogía para un fin concreto dentro del repertorio de que dispone.

En este sentido, Alex es capaz de diferenciar las analogías empleadas, y aprecia la diferente aplicabilidad de cada una de ellas según el problema que se esté abordando. Así, al preguntársele sobre la utilidad de las distintas analogías analizadas en función del contexto concreto, señala que la analogía de las bolas -a la que se refiere como “modelo mecánico”- le es útil para comprender el modelo de colisiones, y explicita que la analogía de las frutas no le resulta aplicable en la explicación del cambio químico:

Me ha resultado más útil la [analogía] del modelo mecánico porque ayuda a entender los choques eficaces y las fuerzas de atracción entre los átomos, lo que explica que se formen distintas sustancias. La que menos me ha gustado es la [analogía] de los fruteros, ya que guarda poca relación con los cambios químico. (Alex. Portafolios: actividad final).

Puede verse, que Alex es capaz de discernir entre distintas analogías para un propósito concreto en esta actividad, por lo que su actuación fue categorizada tipo-A.

En contraste con ello, una parte importante del alumnado aportaba valoraciones que evidencian falta de criterio a la hora de seleccionar el uso de una u otra analogía en función de la ocasión. En esos casos, aun siendo capaces de establecer diferencias entre unas analogías y otras, lo hacían a partir del grado de comprensión que tenían de ellas o de la dificultad que les suponía, pero no en función del rango de utilidad entre distintas situaciones o contextos. Es el caso de Bea, para la que no todas las analogías fueron igualmente útiles, pero en cuya explicación no fue capaz de discriminarlas en función del concepto al que la analogía se aplica:

La del frutero me ha resultado más útil porque lo veo más sencillo al igual que la de las piezas del lego, pero la de las bolas de plastilina me es un poco más complicada (Bea. Portafolios: actividad final).

Como puede verse, el patrón de comparación que emplea aquí es el de la sencillez que supuso cada analogía, por lo que su actuación en esta actividad fue catalogada de tipo-C.

Entre uno y otro extremo encontramos también casos intermedios que reflejaban una actuación tipo-B, y en los que se llegaba a precisar el ámbito de aplicación de una sola analogía. Es el caso de Guille, quien dice mantener preferencia por la analogía de las bolas de plastilina con imanes, aunque no dice nada acerca del campo de aplicabilidad de otras analogías:

La más útil me ha resultado la del modelo mecánico de plastilina porque me ayuda a entender los choques eficaces en los cambios químicos y las fuerzas de atracción entre los átomos (Guille. Portafolios: actividad final).

### Niveles de desempeño en las diferentes dimensiones (fase 4)

El análisis cuantitativo realizado nos ayuda a valorar el nivel de desempeño logrado por el alumnado, el cual lo entendemos como una medida de la oportunidad que supuso la propuesta didáctica desarrollada para desplegar oportunidades en las que el alumnado ejerciera y desarrollara capacidades de pensamiento analógico. En este sentido, la tabla 1 recoge las distribuciones de frecuencias de estudiantes que alcanzaron los distintos niveles de la rúbrica en cada una de las dimensiones contempladas, una vez evaluado el desempeño global del estudiante en cada dimensión a lo largo de la unidad didáctica.

**Tabla 1.** Distribuciones de frecuencias para los distintos niveles de las rúbricas en cada dimensión considerada

	Niveles de las rúbricas							
	I		II		III		IV	
	n	%	n	%	n	%	n	%
D1 Expresar la analogía y relaciones	2	5,7	4	11,4	10	28,6	19	54,3
D2 Aprender varias analogías y diferenciarlas	2	5,7	7	20,0	7	20,0	19	54,3
D3 Estimar la utilidad de las analogías	6	17,1	0	0	7	20,0	22	62,9
D4 Representar sistemas y procesos analógicos	4	11,4	3	8,6	5	14,3	23	65,7
D5 Interpretar de forma verbal usando analogías	3	8,6	8	22,9	10	28,6	14	40,0
D6 Realizar predicciones usando analogías	10	28,6	2	5,7	14	40,0	9	25,7
D7 Reconocer carácter figurado de la analogía	3	8,6	1	2,9	8	22,9	23	65,7
D8 Identificar límites de validez de las analogías	2	5,7	6	17,1	13	37,1	14	40,0
D9 Gestionar el uso de analogías	7	20,0	12	34,3	13	37,1	3	8,6
D10 Participar con ideas en la creación de analogías	3	8,6	10	28,6	9	25,7	13	37,1
D11 Delimitar formas de presentación del análogo	5	14,3	3	8,6	15	42,9	12	34,3

Se aprecian frecuencias más altas, por lo general, en la primera mitad de dimensiones que en la segunda, aunque con algunos altibajos que hacen difícil ofrecer alguna regla. Cabe destacar que fueron las dimensiones relacionadas con comprender la utilidad de las analogías (D3), con usar analogías para realizar representaciones (D4), y con reconocer el carácter figurado de las analogías (D7), aquellas que obtuvieron mayor éxito, con casi dos tercios del alumnado alcanzando el nivel máximo posible en la rúbrica. Mientras tanto, se ve claramente que son las tres últimas dimensiones, junto con la sexta, aquellas en las que la proporción de estudiantes que alcanzaron el nivel

más alto de la rúbrica fue menor. De todas ellas, fue la dimensión relativa a la gestión de uso de distintas analogías (D9) aquella en la que el nivel de logro alcanzado fue menor, con muy pocos alumnos alcanzando el nivel óptimo en la rúbrica, aunque una parte respetable (37%) del alumnado alcanzara el nivel III.

### Estudio de relación entre las diferentes dimensiones (fase 5)

A pesar de este comportamiento aparentemente dispar de las distintas dimensiones manejadas, existía la posibilidad de que, en el fondo, todas ellas no fueran sino distintos indicadores, cada una con sus variantes y distinto grado de dificultad, de una misma competencia global. Para comprobar este hecho, efectuamos un análisis exploratorio de correspondencias múltiples para datos ordinales conservando un número de factores igual al de variables contempladas (once). Los resultados obtenidos apuntaban a la existencia de un factor prioritario que explicaba el 62% de la varianza conjunta, lo que sugiere una importante unidad de constructo subyacente al conjunto de dimensiones. Un segundo análisis confirmatorio realizado conservando un solo factor, mostró los resultados que se presentan en la tabla 2. Los valores que se recogen pueden interpretarse como correlaciones entre cada dimensión y el factor común, siendo muy altas en todos los casos, excepto en las dimensiones D3, D6 y D9 en las que fueron solo moderadas. Los valores de saturaciones más bajas aparecen en las dimensiones D6 (Realizar predicciones) y D9 (Gestión de distintas analogías), que son justamente también aquellas en las que los resultados fueron más pobres. De todos modos los datos confirman una unidad de constructo en el conjunto de dimensiones consideradas.

**Tabla 2.** Cargas factoriales para el análisis con un solo factor

	<b>Dimensión 1</b>
D1 Expresar la analogía y relaciones	0,946
D2 Aprender varias analogías y diferenciarlas	0,917
D3 Estimar utilidad de las analogías	0,677
D4 Representar sistemas y procesos analógicos	0,939
D5 Interpretar de forma verbal usando analogías	0,915
D6 Realizar predicciones usando analogías	0,628
D7 Reconocer carácter figurado de la analogía	0,952
D8 Límites de validez de las analogías	0,905
D9 Gestionar el uso de distintas analogías	0,548
D10 Participar con ideas en la creación de analogías	0,915
D11 Delimitar formas de presentación del análogo	0,852

### Discusión y conclusiones

Los resultados obtenidos permiten dar respuesta a las cuestiones de investigación planteadas, al menos dentro del contexto que hemos estudiado.

Así, de un lado, el diseño didáctico implementado parece haber constituido un

rico escenario de prácticas científicas de modelización en las distintas dimensiones consideradas, dado que cada una de ellas tuvo oportunidad de abordarse en más de una ocasión a lo largo de la unidad didáctica. Dichas dimensiones, recordemos, estaban planteadas en correspondencia con las distintas dimensiones de modelización para el cambio químico estudiadas en trabajos anteriores (Oliva, Aragón, & Cuesta, 2015).

En este contexto, además, una parte importante de los estudiantes mostraron aptitudes suficientemente adecuadas a la hora de responder a las tareas propuestas, si bien no todos presentaron un desempeño equiparable. En este sentido, mientras algunos estudiantes sistemáticamente proporcionaron respuestas informadas a las actividades planteadas, otros aportaron respuestas con algunas o bastantes deficiencias.

Por otro lado, el desempeño mostrado por el alumnado en las distintas dimensiones consideradas no fue uniforme sino que varió de unos casos a otros. De este modo, no todas las dimensiones presentaron el mismo nivel de dificultad para el alumnado, mostrándose especialmente compleja aquella relativa a la formulación de predicciones apoyadas en analogías y, sobre todo, la de gestión de analogías en función de las circunstancias. Ésta última aglutina a una parte importante de las otras, de ahí quizás su dificultad. De hecho, implica cuanto menos conocer más de una analogía, para poder elaborar un juicio comparativo entre ellas (D1 y D2), percibir e identificar los límites de las distintas analogías (D7 y D8), y ser capaz de aplicar las analogías a situaciones concretas (D4, D5 y D6) para así poder valorar la utilidad que posee cada una (D3) y así compararlas. En este sentido, conviene recordar que algunos autores consideran el uso de distintos tipos de representaciones y la destreza para “navegar” de una a otra como una capacidad que sintetiza bien las características del conjunto de componentes de la competencia de modelización, la cual requiere que los estudiantes interpreten, manipulen y expresen los fenómenos y situaciones utilizando una cierta variedad de signos (Barsalou, 1999; Nersessian, 2002, Taber, 2013), distintos códigos de lenguajes y la capacidad de “traducción” de unos a otros (Keig, & Rubba, 1993). De ahí que dicha dimensión haya sido reconocida como una definición operativa de la competencia representacional (Kozma & Russell, 1997).

Según estos resultados, todas las dimensiones contempladas para el pensamiento analógico constituyen, en cierta forma, manifestaciones distintas, con más o menos variaciones, y mayor o menor dificultad, de un mismo constructo central que nosotros vinculamos a la competencia de modelización del alumnado, particularmente en el ámbito del cambio químico. Estos resultados se mueven en la misma línea de los obtenidos por Oliva, Aragón y Cuesta (2015), y parecen confirmar la hipótesis ya formulada por otros autores sobre la relación existente entre prácticas de modelización y conocimientos de metamodelización en ciencias (Nicolaou, & Constantinou, 2014; Schwarz, 2002; Schwarz et al., 2012). Así mismo, apuntan en la misma dirección de trabajos anteriores (Oliva, & Aragón, 2009) que sugerían la utilidad de las analogías, no solamente con vistas al aprendizaje de los modelos de la ciencia escolar, sino también de cara al desarrollo de las destrezas y valores epistémicos inherentes a la competencia de

los alumnos para modelizar.

Las conclusiones obtenidas a partir de este estudio deberán ser contrastadas en investigaciones futuras, ya sea mediante su comparación con los resultados obtenidos en otros casos de estudios similares desarrollados en otros contextos (centros, alumnos, incluso ámbito de contenido), o bien a partir de investigaciones con muestras más amplias que contemplen otro tipo de instrumentos como cuestionarios escritos. En este sentido hemos de reconocer que la parte cuantitativa del estudio realizado no pretendía tanto llegar a generalizaciones sobre las respuestas aportadas, como profundizar aún más en el caso estudiado a través de las herramientas que proporciona el análisis multivariable.

De cualquier forma, y a la espera de estudios futuros de contrastación de tales conclusiones, sí podemos avanzar algunas implicaciones didácticas que se pueden derivar de la investigación llevada a cabo. En este sentido, el estudio sugiere algunas implicaciones importantes para la enseñanza de la química, particularmente con respecto a la promoción del desarrollo de destrezas y valores epistémicos relacionados con la competencia de la modelización de los estudiantes.

En primer lugar, cabe suponer que el enfoque de modelización adoptado, siguiendo las propuestas de Justi y Gilbert (2002), constituya un marco educativo útil para el desarrollo de capacidades inherentes a los procesos de modelización. De este modo, 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 de la profesora, pudieron ser una excelente combinación para facilitar el andamiaje necesario para que los estudiantes aprendieran a manejarse en prácticas de modelización científica.

En segundo lugar, dada la cierta unidad de constructo que parece asomarse bajo la competencia de modelización, podríamos esperar que el desarrollo de algunas de las dimensiones consideradas en el estudio también contribuyese indirectamente al desarrollo de las otras. Si esto es así, no sería imprescindible abordar todas y cada una de las dimensiones contempladas, sino que podrían priorizarse solo algunas, aligerando así el panel de actividades y tareas planteadas en la unidad didáctica.

Finalmente, los resultados obtenidos pueden considerarse un aval para la hipótesis de que las analogías no solo suponen recursos útiles para el aprendizaje de modelos, sino una forma de involucrar al alumnado en prácticas epistémicas relacionadas con la actividad de modelización científica.

## Referencias

Aragón, M. M., Oliva, J. M., & Navarrete, A. (2010). Analogías y modelización en la enseñanza del cambio químico. *Investigación en la Escuela*, 71, 93–114.

Aragón, M. M., Oliva, J. M., & 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), 9–30. doi: <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ec/v31n2.832>

- Aragón, M. M., Oliva, J. M., & Navarrete, A. (2014). Contributions of learning through analogies to the construction of de Secondary Education pupil's verbal discourse about the chemical change. *International Journal of Science Education*, 36(12), 1960–1984. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2014.887237>
- Bamberger, Y. M., & Davis, E. A. (2013). Middle-school science students' scientific modelling performances across content areas and within a learning progression. *International Journal of Science Education*, 35, 213–238. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2011.624133>
- Barsalou, L. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 637–660.
- Caamaño, A. (2012). La investigación escolar es la actividad que mejor integra el aprendizaje de los diferentes procedimientos científicos. In E. Pedrinaci, A. Caamaño, P. Cañal, & A. de Pro, (Orgs.), *El desarrollo de la competencia científica* (p. 127–143). Barcelona: Graó.
- Camacho González, J. P., Jara Colicoy, N., Morales Orellana, C., Rubio García, N., Muñoz Guerrero, T., Rodríguez Tirado, G. (2016). Los modelos explicativos del estudiantado acerca de la célula eucarionte animal. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(2), 196–212.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2011). Contributions of the Model of Modelling Diagram to the Learning of Ionic Bonding: Analysis of A Case Study. *Research in Science Education*, 41(4), 479–503. doi: 10.1007/s11165-010-9176-3
- 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), 26–41.
- Cheng, M. F., & Lin, J. L. (2015). Investigating the relationship between students' views of scientific models and their development of models. *International Journal of Science Education*, 37(15), 2453–2475. doi: 10.1080/09500693.2015.1082671
- Domènech Casal, J. (2015). Una secuencia didáctica de modelización, indagación y creación del conocimiento científico en torno a la deriva continental y la tectónica de placas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 186–197.
- Driel, J. H. Van, & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141–1153. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/095006999290110>
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science conceptions of middle and high school teachers and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799–882. doi: 10.1002/tea.3660280907
- Halloun, I. (2007). Mediated modeling in science education. *Science & Education*, 16(7–8), 653–697, 2007. doi:10.1007/s11191-006-9004-3

- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011–1026. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/095006900416884>
- Izquierdo, M. (2004). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: contextualizar y modelizar. *The Journal of the Argentine Chemical Society*, 92(4/6), 115–136.
- Izquierdo, M., & Adúriz Bravo, A. (2005). Los modelos teóricos para la ciencia escolar. Un ejemplo de química. *Enseñanza de las Ciencias*, n. extraordinario, 1–4.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173–184.
- Justi, R. (2015). Relações entre argumentação e modelagem no contexto da ciência e do ensino de ciências. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 17, n. especial, 31–48.
- Justi, R., & 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), 369–387.
- Keig P. F., & Rubba, P. A. (1993). Translations of representations of the structure of matter and its relationship to reasoning, gender, spatial reasoning, and specific prior knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), 883–903. doi: 10.1002/tea.3660300807
- Kozma, R. B., & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: expert and novices responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949–968. doi: 10.1002/(SICI)1098-2736(199711)34:9<949::AID-TEA7>3.0.CO;2-U
- Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. In J. Gilbert, (Org.), *Visualization in science education* (pp. 121–146). London: Kluwer.
- Lopes, J. B., & Costa, N. (2007). The evaluation of modelling Competences: difficulties and potentials for the learning of the sciences. *International Journal of Science Education*, 29(7), 811–851. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/09500690600855385>
- Madden, S. P., Jones, L. L., & Rahm, J. (2011). The role of multiple representations in the understanding of ideal gas problems. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(3), 283–293.
- Martínez-Chico, M., Jiménez-Liso, M. R., & López-Gay, R. (2015). Efecto de un programa formativo para enseñar ciencias por indagación basada en modelos, en las concepciones didácticas de los futuros maestros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 149–166, 2015.

- Mendonça, P. C. C., Justi, R., & de Oliveira, M. M. (2011). Analogias sobre ligações químicas elaboradas por alunos do ensino médio. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 6(1), 35–44.
- Mozzer, N. B., & Justi, R. (2009). Introdução ao termo dissolução através da elaboração de analogias pelos alunos fundamentadas na modelagem. In: VII Enpec - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis.
- Nersessian, N. J. (2002). Maxwell and “the Method of Physical Analogy”: Model-based reasoning, generic abstraction, and conceptual change. In D. Malament, (Org.), *Essays in the History and Philosophy of Science and Mathematics* (pp. 129–166) LaSalle, IL: Open Court.
- Nicolaou, C. T., & Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52–73. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.001>
- Oliva, J. M. (2004). El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(3).
- Oliva, J. M., & Aragón, M. M. (2009a). Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias: marco teórico. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(2), 195–208.
- Oliva, J. M., Aragón, M<sup>a</sup>. M., & Cuesta, J. (2015). The Competence of Modelling in Learning Chemical Change: a Study with Secondary School Students. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13(4), 751–791. doi:10.1007/s10763-014-9583-4
- Oversby, J. (1999). Assesment of modelling capability. Paper presented in *Second International Conference of European Science Education Research Association*. Kiel. Alemania.
- Passmore, C. M., & Svoboda, J. (2012). Exploring opportunities for argumentation in modelling classrooms. *International Journal of Science Education*, 34(10), 1535–1554. doi: 10.1080/09500693.2011.577842
- Prins, G. T., Bulte, A. M., Van Driel, J. H., & Pilot, A. (2009). Students’ involvement in authentic modelling practices as contexts in chemistry education. *Research in Science Education*, 39(5), 681–700. doi: 10.1007/s11165-008-9099-4
- Raviolo, A. (2009). Modelos, analogías y metáforas en la enseñanza de la química. *Educación Química*, 20(1), 55–60.
- Raviolo, A., & Garritz, A. (2007). Analogías en la enseñanza del equilibrio químico. *Educación Química*, 18(1), 15–28.

Schwarz, C. (2002). Is there a connection? The role of meta-modeling knowledge in learning with models. *Proceedings of the International Conference of Learning Sciences*. Seattle, WA.

Schwarz, C., & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modelling. *Cognition and Instruction*, 23, 165–205.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654. doi: 10.1002/tea.20311

diSESSA, A. A. (2004). Metarepresentation: native competence and targets for instruction. *Cognition and Instruction*, 22(3), 293–331.

Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., van Joolingen, W. R., & van Hout-Wolters, B. H. A. M. (2009). The relation between students' epistemological understanding of computer models and their cognitive processing on a modelling task. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1205–1229. doi: 10.1080/09500690802192181

Smith, C., Snir, J., & Raz, G. (2002). Can middle schoolers understand the particulate theory of matter as an explanatory model? An exploratory study. *Paper presented at the American Educational Research Association meeting*, New Orleans, LA.

Taber, K. S. (2013). Revising the chemistry triplet: Drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(2), 156–168. doi: 10.1039/C3RP00012E

Treagust, D., Chittleborough, G., & Mamiala, T. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357–368. doi: 10.1080/09500690110066485

**José Maria Oliva**

 <https://orcid.org/0000-0002-2686-613>  
Universidad de Cádiz  
Facultad de Ciencias de la Educación  
Departamento de Didáctica  
Puerto Real, España  
josemaria.oliva@uca.es

**María del Mar Aragón-Méndez**

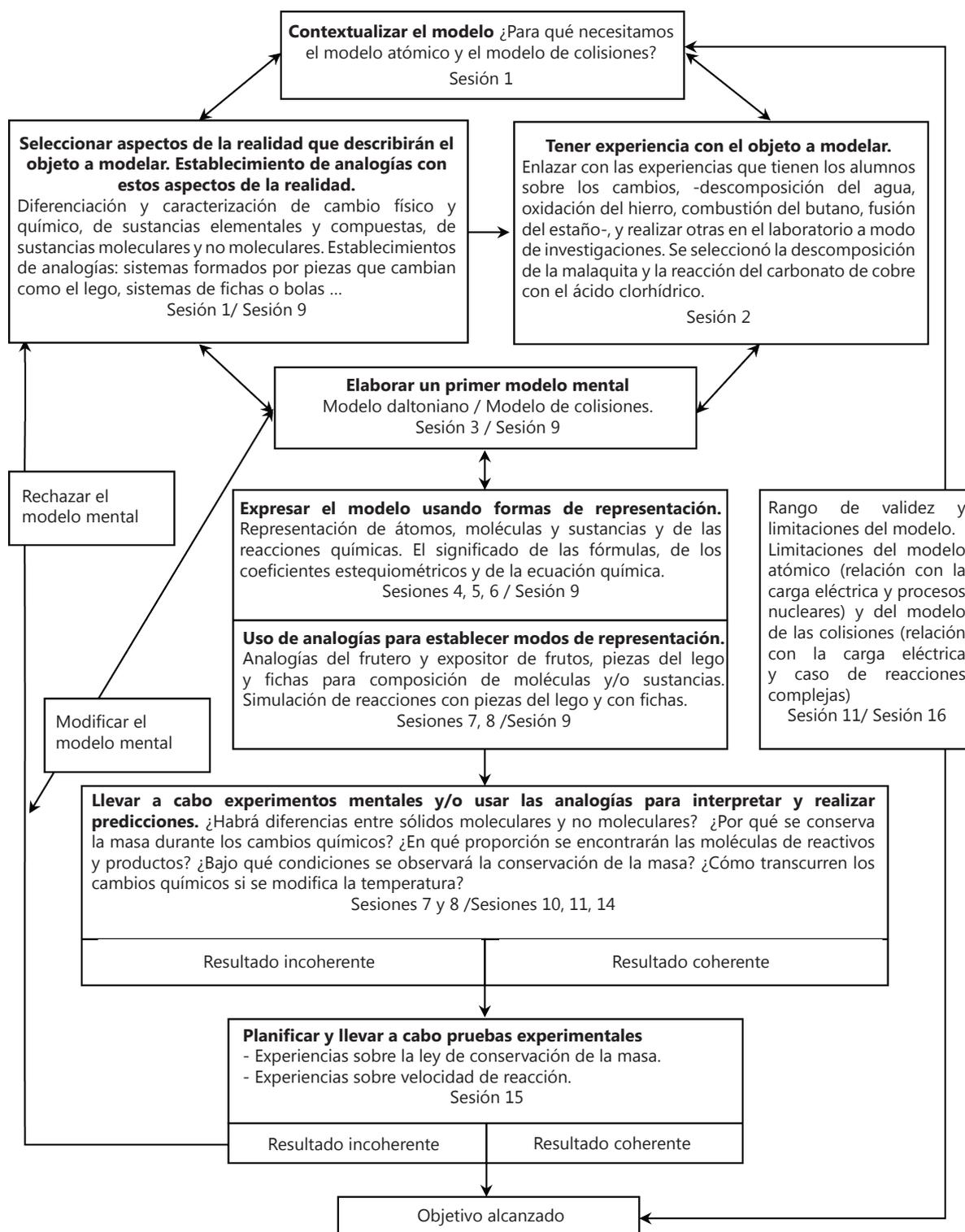
 <https://orcid.org/0000-0002-5997-389X>  
Universidad de Cádiz  
Facultad de Ciencias de la Educación  
Departamento de Didáctica  
Puerto Real, España  
mariadelmar.aragon@uca.es

**Recibido el 28 de Febrero de 2017**

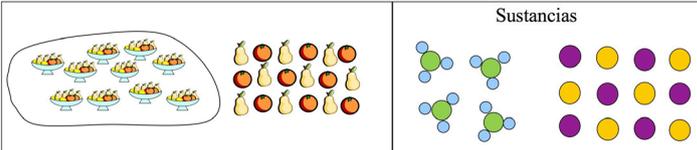
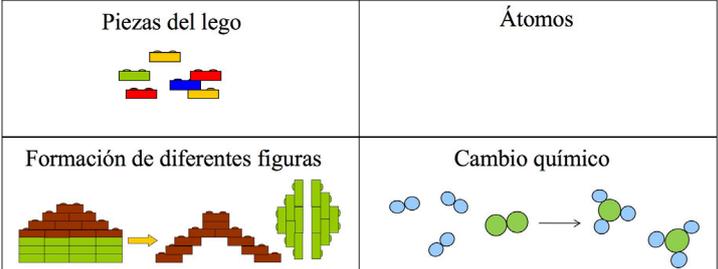
**Aceptado el 04 de Noviembre de 2017**

**Disponible en Internet el 20 de Diciembre de 2017**

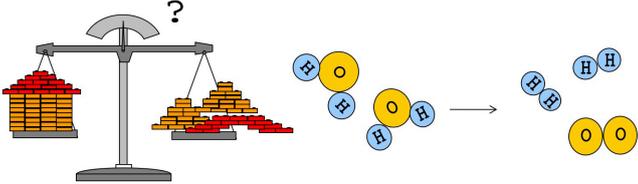
**Anexo 1. Contenidos de la propuesta didáctica en relación al esquema de Justi y Gilbert (2002) para la actividad de modelización (Oliva et al., 2013).**



## Anexo 2. Ejemplos de tareas planteadas (continúa)

Dimensiones del pensamiento analógico	Ejemplos de tareas de aula implicadas
Expresar la analogía y las relaciones que la sustentan	<p>Indica las similitudes entre el conjunto de fruteros y las frutas de un expositor con la estructura de la materia.</p> 
Aprender varias analogías	<p>Otras actividades similares a la anterior pero con otras analogías. Por ejemplo:</p> 
Estimar la utilidad de las analogías	¿Para qué piensas que te han servido las analogías?
Representar sistemas y procesos analógicos	<p>Escenificación personificada de estructuras moleculares y reticulares:</p> 
Interpretar de forma verbal usando analogías	<p>Explica, haciendo uso del modelo atómico, por qué las sustancias elementales no se descomponen mientras que las compuestas sí. Para facilitar el razonamiento, construye con las piezas del lego y dibuja dos columnas, una que se pueda descomponer en dos diferentes y otra que no.</p>

## Anexo 2. Ejemplos de tareas planteadas (continuación)

Dimensiones del pensamiento analógico	Ejemplos de tareas de aula implicadas
Realizar predicciones usando analogías	<p>Construye un objeto diferente con las mismas piezas. ¿Qué relación existirá entre el peso de estos objetos? ¿Qué ocurrirá en un cambio químico?</p> 
Reconocer carácter figurado de la analogía	Reconocimiento de la existencia de diferencias entre los análogos empleados y los sistemas químicos que representan.
Identificar límites de validez de las analogías	Identificación de diferencias entre los análogos empleados y los sistemas químicos que representan.
Gestionar el uso de analogías	¿Cuál de las analogías empleadas te ha resultado más útil y cuál menos? Explica la respuesta.
Participar con ideas en la creación de analogías	Podemos partir de nuestra experiencia personal puesto que conocemos objetos que se transforman en otros. Es el caso de los muebles y de los juguetes transformables. ¿Cómo deben estar constituidos? ¿Qué características tienen todos estos objetos transformables? ¿Qué relaciones encuentras entre las reacciones químicas y los juguetes y muebles transformables?
Delimitar formas de presentación del análogo	<p>Representa mediante símbolos los siguientes sistemas e indica la relación entre los fruteros y las moléculas.</p> 