

MODELIZACIÓN Y PENSAMIENTO ANALÓGICO EN EL APRENDIZAJE DEL CAMBIO QUÍMICO

José María Oliva-Martínez, María del Mar Aragón-Méndez
Departamento de Didáctica. Universidad de Cádiz

RESUMEN: Se analiza el desempeño del alumnado de tercer curso de secundaria obligatoria, en el manejo y construcción de analogías ante prácticas científicas de modelización sobre cambio químico. El diseño didáctico planteado usó analogías como instrumento recurrente, en un entorno de aprendizaje en el que se favorecía la iniciativa y participación de los estudiantes. La recogida de datos se realizó vía producciones del alumnado en el aula, complementada con entrevistas semiestructuradas y transcripciones del diario del profesor. En primer lugar se identificaron las destrezas y valores epistémicos movilizados a través de las analogías empleadas; en segundo lugar se evaluó el desempeño del alumnado en cada una de esas dimensiones, y finalmente se aportaron datos sobre la unidad de constructo del conjunto de ellas, en conexión con la competencia de modelización en química.

PALABRAS CLAVE: Cambio químico, Modelos, Modelización, Analogías, Pensamiento analógico.

OBJETIVOS: Las analogías constituyen ingredientes importantes en el proceso de elaboración del conocimiento en la ciencia, en general, y en la química, en particular (Gabel, 1999; Raviolo y Garrtiz, 2007). En este trabajo se analiza el desempeño de estudiantes de 3º Educación Secundaria Obligatoria (ESO) en el manejo de analogías en torno al cambio químico, en un contexto de trabajo en el que estos participaban activamente en su proceso de construcción, uso y valoración (Oliva, 2004; Mozzer y Justi, 2009). Se trata de comprobar, por 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.

MARCO TEÓRICO

Se adopta el marco de la modelización como fundamento de estudio y para situar el papel de las analogías en el aprendizaje de las ciencias. Desde aquí se contempla que modelizar supone una actividad esencial dentro de la enseñanza-aprendizaje de las ciencias (Harrisson y Treagust, 2000; Izquierdo y Adúriz Bravo, 2005), por cuanto es capaz de aglutinar en torno a ella a la mayoría de competencias científicas que se promueven hoy dentro del currículo de ciencias. De ahí que sea importante promover en los alumnos las capacidades y valores necesarios para la tarea de modelizar (Harrison y Treagust, 2000; Justi y Gilbert, 2002; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2005; Chamizo, 2010).

De acuerdo con Nicolaou y Constantinou (2014), la competencia de modelización podría emerger como consecuencia de la participación activa de los estudiantes en prácticas de modelización y del

consiguiente análisis reflexivo promovido. Más concretamente, según ellos, modelizar poseería dos grandes componentes, una que apela a las prácticas de modelización, en términos de destrezas que permiten a una persona usar reflexivamente y expresar una variedad de representaciones y modelos, y la otra vinculada al metaconocimiento, como actividad que posibilita valorar y gestionar el uso de diferentes modelos, y también percibir la naturaleza y el alcance de los mismos.

No obstante, estas dos componentes no tendrían por qué ser independientes, sino partes de un tronco común. En efecto, empieza a existir un cierto consenso en torno a que existe algún tipo de relación entre aprender modelos, trabajar con ellos y comprender su naturaleza (Nicolau y Constantinou, 2014). En este sentido se ha postulado que el conocimiento epistémico incide en el aprendizaje de los modelos y cómo éstos se emplean, y que puede existir también una relación recíproca en sentido contrario. Así, de un lado, conocer la naturaleza y características de los modelos y su evolución, podría servir a los alumnos para usar más y mejor los modelos que posee, e incluso para reformular y hacer evolucionar los mismos hacia otros más avanzados. Pero también, de otro, podría considerarse que la tarea de aprender modelos y aplicarlos, entranaría en sí misma una actividad epistemológica de la que resultaría una mejor comprensión sobre qué es un modelo, cómo debe usarse y qué ha de entenderse por un modelo adecuado (Schwarz, 2002). Este planteamiento está en sintonía con los resultados empíricos de diversas investigaciones (Smith *et al.*, 2002; Gobert *et al.*, 2011; Oliva, Aragón y Cuesta, 2015). Por ejemplo, en el último de los estudios citados se evidenció que distintas dimensiones vinculadas a la modelización en torno al cambio químico llegaron a converger, mostrando la existencia de una importante unidad de constructo entre todas ellas.

Más aún, podría considerarse que una parte importante de las capacidades y valores que integran la competencia de modelización podrían ser comunes también a las actividades de pensamiento analógico (Oliva y Aragón, 2009), lo que significaría que el trabajo con analogías podría suponer un factor clave en el desarrollo de la competencia de modelización, al menos si las analogías son usadas en términos como los descritos.

METODOLOGÍA

El contexto de investigación se sitúa en la implementación de una secuencia didáctica sobre el cambio químico a nivel de tercer curso de ESO. El modelo referente manejado en la secuencia consistía en una integración multimodal de los tres niveles de representación definidos por Johnstone (1982): macroscópico, como cambio de sustancia y propiedades; submicroscópico, como reagrupamiento de átomos, y simbólico, como representación mediante ecuaciones químicas. La secuencia, que ha sido ya descrita en trabajos anteriores (Aragón, Oliva y Navarrete, 2010), incorporaba una serie de recursos para evocar procesos de modelización, como analogías, modelos mecánicos, experimentos mentales y experimentos reales de laboratorio, entre otros. En este estudio nos centraremos en analizar el papel que jugaron las analogías incluidas, las cuales se emplearon de modo recurrente en distintos momentos de la secuencia.

Dicha secuencia, 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. El enfoque didáctico adoptado puede situarse dentro del marco socioconstructivista, en el que la participación del estudiante estuvo canalizada a través del trabajo colectivo en pequeño y gran grupo. En este escenario, las analogías 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 mediante lenguaje simbólico. Tales recursos sirvieron no solo con el fin de facilitar la reflexión y comprensión del alumnado sobre los distintos modelos de cambio químico, sino

además para desarrollar 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 y Justi, 2009).

Las cuestiones de investigación fueron las siguientes:

1. ¿Qué dimensiones de la competencia de modelización movilizaron los estudiantes a lo largo de la UD desarrollada?
2. ¿En qué dimensiones mostraron niveles mayores y menores de desempeño?
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 grupos similares de estudiantes de un mismo centro de Secundaria, 35 en total, todos ellos enseñados por una misma profesora. 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 en clase. La información recopilada a través de esta vía fue completada con informaciones obtenidas a través de entrevistas semiestructuradas y transcripciones del diario del profesor-observador.

El tratamiento y análisis de datos se ha realizado en cinco fases (Figura 1) empleando como dimensiones aquellas que se recogen en la tabla 1.

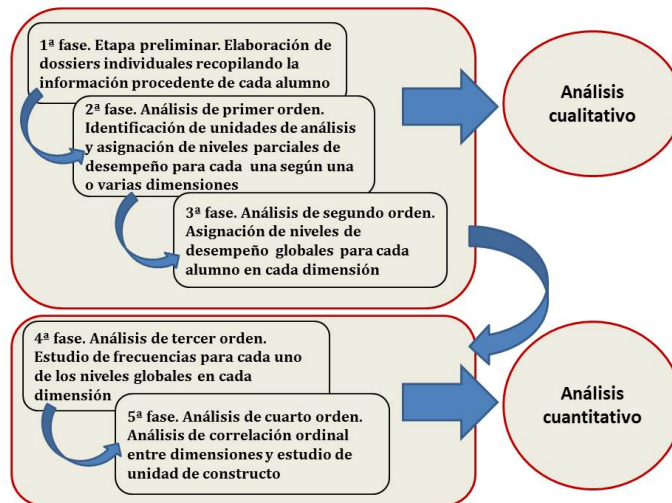


Fig.1. Fases de la investigación

Tabla 1.
Transposición al pensamiento analógico de las dimensiones de modelización

| <i>DIMENSIONES DE LA MODELIZACIÓN</i> | <i>DIMENSIONES DEL PENSAMIENTO ANALÓGICO</i> |
|--|---|
| Formular y expresar verbalmente modelos | D1. Formular y expresar analogías explicitando relaciones |
| Manejar diferentes modelos distinguiendo 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 |
| 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 |
| 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 |

RESULTADOS

En la 2ª fase del estudio se categorizaron los segmentos de información identificados según un sistema de categorías que contemplaba tres tipos de desempeño para cada dimensión:

- Tipo A: Manejo adecuado y coherente con la práctica de modelización implicada.
- Tipo C: Desempeño deficiente e inadecuado, al implicar argumentos alejados de los que serían deseables y/o por responder a planteamientos incompletos o difusos.
- Tipo B: Desempeño intermedio entre ambos.

Como muestra de los datos con que trabajamos, aportamos a continuación uno de los fragmentos obtenidos en el caso de un estudiante que mostraba buenas dotes de gestión de las analogías que conocía (Tipo-A):

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).

Al objeto de aportar una valoración de conjunto del desempeño de cada estudiante a lo largo de distintos fragmentos parciales de información obtenidos en una determinada dimensión, se elaboró una rúbrica promedio de cuatro niveles:

- Nivel I: no se evidencia la capacidad, lo que se manifiesta en desempeños generalizados tipo-C o en la ausencia de evidencia alguna.

- Nivel II: aparecen indicios mínimos de desempeño, pero con notables carencias. 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 casi siempre conforme a desempeños tipo-A.

Por ejemplo, en el caso del referido alumno (Alex), el tipo de argumentos ofrecido fue muy regular a lo largo de los distintos fragmentos de información para la dimensión D9, por lo que fue categorizada en un nivel IV para dicha dimensión.

La tabla 2 recoge la distribución de frecuencias entre distintos niveles globales para cada una de las dimensiones consideradas. 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 2/3 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 analogías (D9) aquella en la que el nivel de logro alcanzado fue menor, probablemente por ser la más compleja al recapitular muchas de las capacidades de las otras.

Para comprobar la existencia de lazos entre dimensiones, realizamos un análisis de correlación “no paramétrica” empleando el coeficiente Tau-b de Kendall, el cual está indicado cuando se manejan escalas ordinales, como es este el caso. Dicho coeficiente arrojó correlaciones estadísticamente significativas en siete de cada ocho casos, lo que sugiere la posibilidad de que, en el fondo, todas estas dimensiones no sean sino distintos indicadores, con distintas variantes y diferente grado de dificultad, de una misma competencia global. Para comprobar este hecho, efectuamos un análisis confirmatorio de correspondencias múltiples para datos ordinales conservando un solo factor (Tabla 3), el cual mostró saturaciones altas o muy altas, lo que confirma la una unidad de constructo en el conjunto de dimensiones consideradas.

Tabla 2.
Distribuciones de porcentajes en niveles de desempeño de pensamiento analógico

| DIMENSIONES | NIVELES DE DESEMPEÑO | | | |
|--|----------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Frecuencias (%) | | | |
| | I | II | III | IV |
| 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) |

Tabla 3.
Saturaciones para el análisis de correspondencias múltiples con un solo factor

| <i>Dimensiones</i> | <i>Saturaciones</i> |
|--|---------------------|
| 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 |

CONCLUSIONES

De un lado, el diseño didáctico empleado parece haber sido un rico escenario de prácticas de modelización en las distintas dimensiones consideradas. No obstante, el desempeño mostrado en las distintas dimensiones no fue uniforme, lo que sugiere un nivel variable de dificultad, siendo especialmente compleja la relativa a la formulación de predicciones apoyadas en analogías y, sobre todo, la de gestión de analogías. Ésta última aglutina a una parte importante de las otras, de ahí quizás su dificultad.

Según estos resultados, las dimensiones contempladas para el pensamiento analógico constituyen, en cierta forma, manifestaciones con distintas variantes y diferente grado de dificultad de un mismo constructo central que nosotros vinculamos a la competencia de modelización del alumnado, particularmente en el ámbito del cambio químico. Si esto fuera así, se confirmaría la hipótesis ya formulada en estudios anteriores en torno a la utilidad del trabajo con 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 (Olivay Aragón, 2009).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del Proyecto de Investigación de Excelencia “Desarrollo y evaluación de competencias científicas mediante enfoques de enseñanza en contexto y de modelización. Estudios de caso” (EDU2013-41952-P) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAGÓN, M. M.; OLIVA, J. M., y NAVARRETE, A. (2010). Analogías y modelización en la enseñanza del cambio químico. *Investigación en la Escuela*, (71), 93-114.
- 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.
- GABEL, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548-554.

- GOBERT, J.; O'DWYER, L.; HORWITZ, P.; BUCKLEY, B.; LEVY, S.T. and WILENSKY, U. (2011). Examining the relationship between students' epistemologies of models and conceptual learning in three science domains: Biology, Physics, & Chemistry. *International Journal of Science Education*, 33(5), 653-684.
- HARRISON, A.G. y TREAGUST, D.F. (2000). A tipology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- 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*.
- JOHNSTONE, A.H.(1982). Macro and micro chemistry. *School Science Review*, 64, 295-305.
- 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), 369-387.
- MOZZER, N. B., y JUSTI, R. (2009). Introdução ao termo dissolução através da elaboração de analogias pelos alunos fundamentadas na modelagem. VII Enpec - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 7. Florianópolis, 8-13 de novembro.
- NICOLAOU, C. T. y CONSTANTINOU, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52-73.
- 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), 363-384 .
- OLIVA, J.M. y ARAGÓN, M.M. (2009). 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^aM.; 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.
- SCHWARZ, C. (2002a). Is there a connection? The role of meta-modeling knowledge in learning with models. *Proceedings of International Conference of Learning Sciences*. Seattle, WA.
- SINS, P. H., SAVELSBERGH, E. R., VAN JOOLINGEN, W. R., & VAN HOUT-WOLTERS, B. H. (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.

