

Contribución del pensamiento analógico a la modelización del cambio químico mediante representaciones icónicas

Aragón Méndez, M. M., Oliva Martínez, J.M.

Departamento de Didáctica. Universidad de Cádiz.

mariadelmar.aragon@uca.es

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza el desempeño de alumnos de 3º de ESO en tareas de modelización icónica acerca cambio químico, a través de una unidad didáctica que empleaba analogías como instrumento recurrente con el que ayudar a los alumnos a construir sistemas químicos de representación. Se ofrecen resultados, tras un estudio de corte cualitativo, que apuntan a una estrecha relación entre la comprensión y uso de las analogías empleadas y la competencia en el uso de los sistemas de representación empleados.

Palabras clave

Analogías, cambio químico, modelos, modelización, representaciones icónicas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este trabajo se analiza el papel de las analogías como recurso de enseñanza y aprendizaje útil en el aprendizaje del cambio químico, no solo con la finalidad de ayudar a los alumnos en la construcción de un modelo submicroscópico para la materia, sino también como recurso para desarrollar habilidades y destrezas relacionadas con la competencia de modelización. Concretamente se incide en su papel para desarrollar en los alumnos representaciones mentales a escala submicroscópica y ayudarles en la modelización en torno a la simbología química. Todo lo cual hemos venido a englobar aquí bajo la denominación de representaciones icónicas.

MARCO TEÓRICO

El cambio químico resulta una noción compleja cuya comprensión requiere un aprendizaje al menos, a tres niveles: macroscópico, submicroscópico y simbólico (Johnstone, 1982), y del establecimiento de las relaciones entre ello. De hecho, en el tránsito de un sistema a otro es en lo que se resume la competencia de modelización, como han justificado algunos autores (Keig y Rubba, 1993; Kozma y Russell, 1997; Gabel, 1999; Treagust, Chittleborough, y Mamiala, 2003; Gilbert y Treagust, 2009; Merino & Izquierdo, 2011).

Paracomunicar ideas y representar los sistemas químicos en cualquiera de estos tres niveles de representación, podemos recurrir tanto al lenguaje verbal como al icónico, siendo este último, como sabemos, aquel que utiliza signos o imágenes para aludir de forma metafórica a los sistemas que caracteriza. De este modo, resulta esencial, tanto la simbología química (símbolos, fórmulas y ecuaciones químicas) como, particularmente

a escala submicroscópica, los diagramas de partículas (representadas por círculos o esferas) que posibilitan representar en un plano o en tres dimensiones tanto átomos, como moléculas y redes cristalinas. La comprensión y manejo de los sistemas icónicos de representación suponen no sólo una finalidad en sí misma dentro del aprendizaje de la química, sino también un requisito que condiciona la interpretación lingüística o verbal del cambio químico a escala submicroscópica (Aragón, Oliva y Navarrete, 2013). El mecanismo que lo permite parece basarse en el importante peso que tienen las representaciones icónicas dentro de las representaciones mentales, como lo demuestra el hecho de que aquellas sean usadas por los investigadores para indagar en torno a las concepciones y los modelos mentales de los alumnos sobre la constitución de la materia (Abdo y Taber, 2009; Nyachwaya et al, 2011).

Pero, la representación icónica del cambio químico no se encuentra exenta de dificultades (De Jong y Taber, 2007; Kern et al. 2010), por ello se hace necesario el diseño de recursos que potencien esta faceta. En este sentido, las analogías se presentan como una herramienta que favorece el proceso de modelización, cobrando un peso importante cuando se trata de desarrollar modelos icónicos submicroscópicos, dado que estos modelos tienen carácter analógico. Por una parte, el uso de múltiples analogías, presenta un gran potencial para recorrer el camino desde los conceptos concretos correspondiente al ámbito de lo cotidiano hasta las entidades abstractas pertenecientes a los modelos submicroscópicos explicativos de los sistemas químicos. En este caso, el trabajo con analogías y modelos acaba solapándose, existiendo una línea de continuidad desde uno hasta otro. Por otra parte, los procesos creativos que deben ponerse en marcha cuando se demanda a los alumnos que apliquen y revisen los modelos aprendidos, y realicen aportaciones para la reconstrucción de otros nuevos, se pueden activar si los alumnos se implican en el proceso de creación de analogías (Wong, 1993).

EL CONTEXTO DIDÁCTICO

Esta investigación se enmarca dentro de otra más amplia que estudia la contribución del pensamiento analógico al desarrollo de la modelización del cambio químico, a través de una unidad didáctica de orientación socioconstructivista, que usa las actividades analógicas como herramienta recurrente (Oliva y Aragón, 2009; Aragón, Oliva y Navarrete, 2010; Aragón, 2012).

La modelización del cambio químico pretendía el aprendizaje a través de múltiples modalidades de representación, en concreto de aquellos proposicional, expresados de manera verbal, y modelos de carácter icónico, que son los que nos ocupan en el presente trabajo. Estos últimos fueron de dos tipos:

- *Modelo icónico modal*, en el que los símbolos empleados, diagramas de partículas, guardan una cierta relación de similitud con los objetos que representan, átomos y moléculas fundamentalmente.
- *Modelo icónico amodal* en el que los símbolos empleados no guardan relación de semejanza con los objetos que representan. Está constituidos por símbolos, fórmulas y ecuaciones químicas.

Como herramientas facilitadoras del proceso de modelización se usaron de forma recurrente actividades analógicas. Las analogías empleadas fueron diversas y cada una incidía de manera especial sobre determinadas características de los sistemas químicos. Los análogos fueron el juego del lego, conjuntos de frutas, fichas de colores y bolas de plastilina con imanes. Todos los análogos constituyen sistemas discontinuos, conjuntos formados por entidades elementales que se pueden organizar de diferente modo.

El conjunto de ellas puede considerarse como anclajes que desembocan en el modelo icónico modal del cambio químico, de carácter analógico (Figura 1), así como en el modelo icónico amodal del cambio químico.



• *Figura 1. Sistemas análogos y diagrama de partículas.*

La trama de actividades de la unidad siguió el marco propuesto por Justi y Gilbert para la modelización (Justi y Gilbert, 2002). Refiriéndonos a las actividades que incidían sobre sistemas de representación simbólica, planteamos una trama que partía de la construcción y/o reconstrucción de sistemas análogos y de sus representaciones, en lugar de partir directamente del aprendizaje de los modelos simbólicos del cambio químico. (Figura 2).

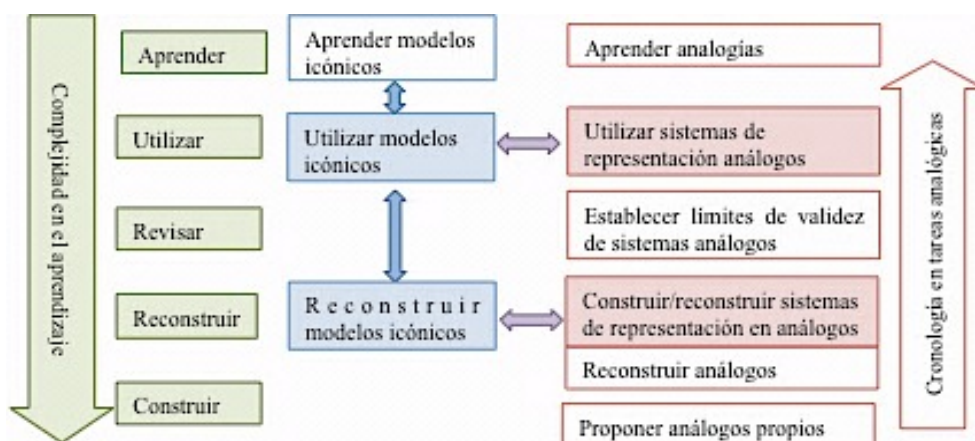


Figura 2. Tareas de modelización y analógicas.

Concretando la secuencia de actividades analógicas, y en primer lugar, los alumnos contribuyeron a construir la analogía del lego, e idearon otros análogos, para favorecer la modelización del cambio químico a escala submicroscópica. En segundo lugar, los alumnos propusieron sistemas de representación de conjuntos de frutas que posteriormente se trasladaron a los sistemas icónicos de representación de sustancias y cambios químicos. Posteriormente, los estudiantes utilizaron sistemas análogos de fichas de colores y bolas de plastilina para representar sistemas químicos, interpretarlos y realizar predicciones sobre ellos. Son diversos los motivos por los que se prefirió la secuencia a partir de la (re)construcción de sistemas de representación en los análogos:

- Aunque tanto la tarea de construcción como reconstrucción suponen procesos mentales más complejos, pueden ser accesibles y abordables desde un primer momento dada la familiaridad y concreción de los conceptos pertenecientes al ámbito del análogo.
- El trabajo previo de modelización en análogos, más familiares y menos abstractos que los sistemas químicos, podría favorecer la construcción y el uso de modelos icónicos transferibles a los sistemas químicos. Los alumnos, inmersos en la construcción de sistemas de representación en el análogo, pueden establecer, comprender y utilizar las “reglas del juego” que implican en general estos procesos, para trasladarlos posteriormente a los modelos icónicos del

cambio químico. En particular, la traslación desde la representación de análogos al modelo icónico modal se ve facilitada por la naturaleza analógica de este.

- Los sistemas de representación simbólicos responden a reglas fijas en las que tiene poca cabida la formulación de hipótesis y posterior validación y reelaboración de estos modelos. En cambio es posible el planteamiento de diferentes normas de representación de sistemas análogos y la discusión de su validez y aceptación por consenso, lo que incide en el carácter arbitrario de los símbolos y en la necesidad de precisar su significado de forma consensuada.
- Implicar a los alumnos en el establecimiento de los sistemas de representación y en la asignación de significado a los símbolos, reconociendo así su carácter arbitrario, es coherente con el hecho de aprender a modelizar.

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo desarrollado tiene como objetivo principal constatar si la implicación de los alumnos en el proceso de reconstrucción de sistemas de representación análogos incide en la modelización del cambio químico mediante modelos icónicos, en concreto en su uso y su reconstrucción. Al mismo tiempo se determinará qué procesos se ponen en marcha al reconstruir sistemas de representación.

La muestra objeto de estudio estuvo formada por dos grupos-clase de 3º de ESO (35 alumnos en total), a los que se impartía la asignatura de Física y Química con carácter cuatrimestral. El aula habitual de trabajo fue el laboratorio, con mesas para cuatro alumnos cada una. Los alumnos pertenecían a un centro público de Cádiz capital, en el que el nivel socioeconómico de las familias es medio.

La profesora adoptó el rol de observadora participante, además de investigadora junto al otro autor de este trabajo. Se pretendió que la investigación tuviese un máximo de implicación el aula, escenario natural en el que el profesor investiga e interviene.

Los datos de la investigación se obtuvieron fundamentalmente a través del portafolio de los alumnos. La información obtenida fue contrastada y completada a través del diario de la profesora, de entrevistas individuales semiestructuradas y de registros de audio de las discusiones de los grupos de trabajo durante la realización de las actividades.

Con la finalidad de estudiar el desarrollo de las tareas que implicaban analogías y procesos de modelización se determinaron los procesos que se ponían en juego en el desarrollo de las mismas en relación a diferentes grados de complejidad del aprendizaje: conocer, aplicar, revisar, (re)construir y crear (Justi y Gilbert, 2002), y dentro de cada una de ellas, las distintas capacidades que se ponen en juego. Concretamente, a efectos de este trabajo, se consideran, en el orden que han sido abordados en la secuencia didáctica, las siguientes dimensiones que se vinculan con la representación icónica:

- a) Idear formas de representación de los sistemas químicos contribuyendo a establecer modelos icónicos (1), que se correspondería en el ámbito del pensamiento analógico con delimitar formas de representación dentro del análogo para los sistemas sobre los que se trabaja (2), y
- b) Representar mediante el modelo icónico modal sistemas químicos (3), que se correspondería con representar sistemas y procesos analógicos (4).

Al objeto de evaluar el nivel de progresión alcanzado por cada alumno en cada una de ellas, se definió una rúbrica de cuatro niveles: I) Nulo, no se dan muestras de haber desarrollado las capacidades; II) Pobre, se contribuye puntualmente al establecimiento de sistemas de representación y se aplican deficientemente III) Básica, se contribuye a

establecer y delimitar formas de representación y se aplican parcialmente dichas representaciones. y IV) Avanzada, se contribuye de forma decisiva y personal a establecer y delimitar formas de representación y se aplican adecuadamente estas representaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Delimitación de formas de representación analógica y química

En una parte importante del alumnado se evidenciaron conexiones entre las representaciones de los sistemas análogos y las representaciones de sistemas químicos, en concreto de sustancias moleculares y cristalinas, así como de reacciones químicas. Parece que el establecimiento de formas de representación de análogos permitía a los alumnos participar en el establecimiento de los modelos químicos icónicos, y favorecer un aprendizaje significativo de los mismos, lo que implicaría no sólo su comprensión sino también su aplicación en diferentes situaciones. Se apreciaron intervenciones significativas de los estudiantes en el establecimiento de sistemas de representación. En concreto, al representar el análogo de las frutas, los alumnos tomaron decisiones y evidenciaron problemáticas inherentes al proceso de representar: era necesario elegir símbolos (figura 3); había que representar el número de frutas en un frutero o la proporción de frutas en un expositor; existían diferentes formas de representar el número de frutas o su proporción; era preciso consensuar el sistema de representación; los diferentes sistemas de representación tenían distinta utilidad; era posible acordar distintas formas de representación para un mismo sistema; etc.

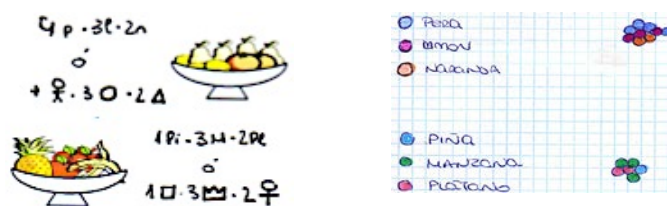


Figura 3. Portafolios de Alex y María.

Posteriormente, al establecer sistemas de representación en la analogía del lego para luego trasladarlos a la modelización de las reacciones químicas mediante ecuaciones, los estudiantes parecían capaces por lo general de asignar significados precisos a los símbolos empleados, lo que debió después contribuir a la correcta interpretación de los subíndices de las fórmulas y de los coeficientes estequiométricos. Además, en el caso de la analogía de las bolas de plastilina, el razonamiento analógico parece haber favorecido la reconstrucción por parte de los alumnos del modelo de colisiones. La tabla 1 muestra los recuentos y porcentajes de los niveles de progresión para las dos capacidades. Un tercio de los alumnos alcanzaba el nivel más alto en la capacidad analógica mientras que solo uno de siete lo hacía en la de modelización. Sin embargo, al aglutinar los niveles C y D, los resultados totales se equilibraban.

Niveles de progresión	Delimitar formas de presentación del análogo		Proponer ideas para representar el CQ	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
I	5	14,3%	4	11,4%
II	3	8,6%	6	17,1%
III	15	42,9%	20	57,1%
IV	12	34,3%	5	14,3%

Tabla 1. Niveles de progresión en el ámbito analógico y en el de modelización.

La correlación entre la capacidad analógica y la de modelización fue estadísticamente significativa, con una Tau-b de Kendall de 0,686; y un $p < 0,001$.

Podemos concluir que proponer ideas para configurar formas de representación de sistemas análogos ha podido estimular en los alumnos la creatividad necesaria para que formulen ideas que completen los modelos representativos del cambio químico. También es posible que el clima establecido en los grupos colaborativos haya podido favorecer la reflexión y la imaginación necesarias para la evolución de esta capacidad, que ha sido desarrollada al menos parcialmente en dos tercios de los alumnos.

Representar sistemas analógicos y químicos

Se trataba, por un parte, de hacer uso de representaciones analógicas, previamente trabajadas y consensuadas, para responder a situaciones planteadas en el ámbito de los sistemas químicos. Principalmente se empleó el análogo de fichas de colores, que resulta muy cercana a las representaciones que resultan en un plano de los diagramas de círculos que suelen emplearse para representar los átomos. Por otra parte, se trataba de emplear el modelo icónico modal, una vez establecidas sus bases, para representar sistemas químicos. Paralelamente, en la secuencia didáctica se trabajó el modelo icónico amodal (manejo de fórmulas y ecuaciones). En trabajos anteriores ya se ha puesto de manifiesto una estrecha vinculación en el dominio de los dos modelos icónicos (Aragón, Oliva y Navarrete, 2013).

Los estudiantes, usando el análogo de las fichas, realizaron simulaciones de cambios químicos. Estas representaciones se encuentran muy próximas del uso directo del modelo icónico modal, pero fueron realizadas con la mediación de un modelo analógico de fichas que los alumnos podían manipular. Posteriormente usaron directamente los modelos icónicos (diagramas de partículas y ecuaciones químicas) sin necesidad de la mediación de sistemas análogos para representar los sistemas químicos.

Como ejemplo, Elena interpreta procesos llevados a cabo en el laboratorio; indica la ecuación química ajustada y usa el modelo icónico modal de forma correcta (figura 4). Su explicación muestra la correcta interpretación de los símbolos usados:

"Hemos mezclado el cinc con el ácido clorhídrico y se ha producido un gas (hidrógeno) y cloruro de cinc. Las moléculas están en movimiento, chocan varias veces hasta que se rompen y los átomos se separan. Luego los átomos se unen de otra forma formando hidrógeno y cloruro de cinc" (Portafolio Elena).

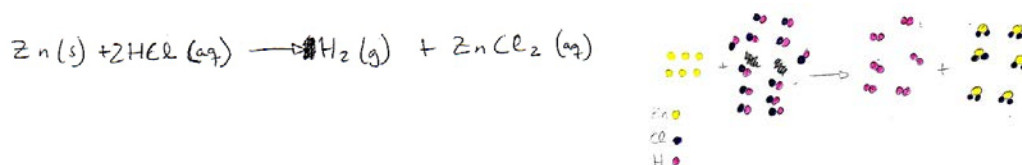


Figura 4. Portafolio Elena.

La tabla 2 muestra los recuentos y porcentajes de los niveles de progresión para ambas capacidades. Puede apreciarse que el nivel competencial alcanzado es bastante satisfactorio y muy similar para el pensamiento analógico y modelizador. Aproximadamente dos de cada tres alumnos alcanzaron el máximo nivel de la escala en ambos casos, con un 84% que pueden encuadrarse en alguno de los dos niveles más altos de la escala, C o D.

Un estudio de correlación nos permitió evidenciar la vinculación existente entre ambas capacidades, posiblemente debido al uso de analogías de anclaje en el desarrollo de su

comprensión. Concretamente el coeficiente de correlación Tau-b de Kendall arrojó un valor de 0,646, que es moderadamente alto y estadísticamente significativo a nivel de $p < 0,001$.

Niveles de progresión	Representar sistemas y procesos analógicos		Representar con imágenes y simulaciones	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
I	4	11,4%	2	5,7%
II	3	8,6%	5	14,3%
III	5	14,3%	7	20,0%
IV	23	65,7%	21	60,0%

Tabla 2. Niveles de progresión en el ámbito analógico y en el de modelización.

CONCLUSIONES

De forma global se puede afirmar que se ha alcanzado un aceptable nivel de progresión en el desarrollo de la capacidad de representar sistemas materiales y sus cambios mediante imágenes y simulaciones, a lo que probablemente haya contribuido el trabajo con analogías. El uso de múltiples analogías, que conllevan un grado progresivo de abstracción y conducen de forma gradual al modelo icónico amodal de los sistemas químicos, puede contribuir al dominio en la aplicación de los modelos icónicos.

La implicación en el proceso de construcción de sistemas de representación en análogos contribuye al dominio de los modelos icónicos. Es factible implicar a los alumnos en la elaboración de sistemas de representación análogos al constituir esta una tarea más asequible al manejar sistemas más familiares que los sistemas atómicos y moleculares. Aun así, estas tareas puede favorecer los procesos creativos propios de la modelización.

Es posible que los alumnos no construyan de forma totalmente original los sistemas de representación de los análogos. En este sentido conviene reconocer que los sistemas propuestos por los alumnos se encuentran en cierta medida inspirados en los modelos que les resulta familiares aunque no dominan: las fórmulas químicas y los diagramas de partículas. Se trataría por tanto más bien de un proceso de reconstrucción o reelaboración de sistemas de representación. En cualquier caso, los procesos inmersos en la (re)construcción de sistemas de representación son: a) elección de signos, b) asignación de significados a los mismos, c) comparación de sistemas de representación con diferentes códigos, identificando las virtudes de cada sistema, d) establecer acuerdos que permitan que los símbolos tengan un significado compartido.

Las tareas implicadas en la elaboración de sistemas de representación de sistemas análogos podrían contribuir a una mejor comprensión de la naturaleza de las ciencias, aunque para ello sería necesario que el alumno tomase consciencia de los procesos que pone en marcha y compararlos con los propios del trabajo de los científicos. Pero sería objeto de otro estudio que también está en la agenda de nuestra investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adbo, K., & Taber, K. S. (2009). Learners' mental models of the particle nature of matter: A study of 16 year-old Swedish science students. *International Journal of Science Education*, 31(6), 757-786.

Aragón, M. (2012). *Aportaciones de las analogías al desarrollo del pensamiento modelizador de los alumnos acerca del cambio químico*. Tesis doctoral. Univ. de Cádiz.

- Aragón, 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., 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.
- De Jong, O. y Taber, K. (2007). Teaching and learning the many faces of chemistry. In: Abell, S. K., & Lederman, N. G. (Eds.). *Handbook of Research on Science Education*, pp. 631-652. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Publishers.
- Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: a look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548-554.
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. (2009). Introduction: Macro, submicro and symbolic representations and the relationship between them: Key models in chemical education. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education* (pp. 1-8). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Johnstone, A.H. (1982). Macro and micro chemistry. *School and 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.
- Keig P.F. and 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, 883-903.
- 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. *Chemical Education Research and Practice*, 11(3), pp. 165-172.
- Kozma, R.B. and Rusell, J. (1997). Multimedia and understanding: expert and novices responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 117-129.
- Merino, C.; Izquierdo, M. (2011). Aportes a la modelización según el cambio químico. *Educación Química*, 22(3), 212-223.
- Nyachwayaa, J.M.; Abdi-Rizak Mohamed, A.R.; Roehrig, G.H.; Wood, N.B.; Kern, A.L. and Schneider, J.L. (2011) The development of an open-ended drawing tool: an alternative diagnostic tool for assessing students' understanding of the particulate nature of matter. *Chemistry Education Research and Practice*, 12, 121-132
- Oliva, J.M. & 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), pp. 195-208
- Treagust, D.; Chittleborough, G. y Mamiala, T. (2003) The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1368.
- Wong, D. (1993) "Understanding the generative capacity of Analogies as a Tool for Explanation". *Journal or Research en Science Teaching*, 30(10), 1259-1272.