

## Monografía

Enseñanza de las ciencias: perspectivas iberoamericanas

### Andrés Raviolo

Universidad Nacional del Comahue, Bariloche (Argentina)

### Andoni Garritz

Universidad Nacional Autónoma de México

# Uso de analogías en la enseñanza de la química: necesidad de elaborar decálogos e inventarios

*El objetivo de este trabajo es abordar algunos aspectos del papel de las analogías en el aprendizaje y la enseñanza de la química, con la intención de trans lucir el desarrollo alcanzado en este campo por la investigación en la didáctica de la ciencias. También compartir algunos hallazgos y propuestas interesantes que surgen de la investigación propia llevada a cabo en tres líneas de trabajo: la enseñanza y aprendizaje del equilibrio químico, el conocimiento pedagógico del contenido y la elaboración de decálogos e inventarios.*

Palabras clave: *analogías, modelos, equilibrio químico, conocimiento pedagógico del contenido, decálogos e inventarios.*

## The Use of Analogies in Chemistry Teaching: the Need to Prepare Guidelines and Inventories

*This work looks at some aspects of the role analogies play in learning and teaching chemistry, with the aim of highlighting the progress made in this field by research into science teaching. It also seeks to share some interesting findings and suggestions which have arisen from the research carried out in three lines of work: teaching and learning chemical equilibrium, pedagogical knowledge of content and the preparation of guidelines and inventories.*

Keywords: *analogies, models, chemical equilibrium, pedagogical knowledge of content, guidelines and inventories.*

## Concepto de analogía

Las personas recurrimos espontáneamente a las analogías para comprender lo desconocido. El razonamiento analógico es una actividad de comparación de estructuras y/o funciones entre dos dominios: un dominio conocido y un dominio nuevo o parcialmente nuevo de conocimiento. Desde el punto de vista educativo, las analogías exaltan la mítica frase ausubeliana «enseñar a partir de lo que el alumnado ya sabe» (AA.VV., 2001), facilitando la comunicación de conceptos nuevos y abstractos, y permitiendo su visualización (Duit, 1991).

En química, así como en todas las ciencias, se emplean analogías, metáforas o modelos para ayudar a explicar un fenómeno que no es observable. Sin embargo, la literatura sobre la utilización de analogías en la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia es ambivalente acerca de la validez o invalidez de la presentación de analogías sencillas o múltiples como la mejor manera de enseñar (Treagust y otros, 2000). Garnett y Treagust (1992) mostraron que algunos estudiantes prefieren que no se les presenten más de una analogía en una sola ocasión. Hoy día parece haber un consenso en lo apropiado que resulta la exposición ante el

alumnado de un conjunto múltiple de analogías, incluso ya se ha dado una validación de este hecho mediante entrevistas con los estudiantes (Harrison y De Jong, 2005).

Las analogías comprenden:

1. Una determinada cuestión desconocida o no familiar (objetivo, objeto).
2. Una cuestión conocida (análogo, base, fuente) que resulta familiar para el sujeto que intenta aprender.
3. Un conjunto de relaciones que se establecen entre (1) y (2) o serie de procesos de correspondencia entre los componentes de ambos. Además, existen atributos no compartidos que constituyen las limitaciones de la analogía.

El análogo puede existir en la mente de la persona o ser presentado con esa intención por otros, por ejemplo a través de: un juego, un experimento, una historia, un modelo, un dispositivo, etc. Una analogía puede tener una elaboración simple, con una expresión metafórica, tal como: «la familia de hidrocarburos» o «la nube electrónica». A su vez, puede basarse en similitudes superficiales, generalmente relaciones estructurales: «el fullereno (C<sub>60</sub>) es como una pelota de fútbol», o en similitudes más elaboradas, como en las analogías estructurales y funcionales.

Aunque las analogías contribuyen a la enseñanza ayudando a la visualización de conceptos abstractos y aportando elementos motivacionales a las clases, pueden presentar su lado negativo como puede ser la generación de comprensiones erróneas.

- La analogía en sí misma es asumida como el objeto de estudio.
- La atribución incorrecta de atributos del análogo al objetivo.
- La sola retención de aspectos superficiales o pintorescos.
- La no abstracción de las correspondencias entre los dominios.

### Analogía y modelo

A menudo suelen usarse los términos *analogía* y *modelo* indistintamente. Contribuye a ello el hecho de que en toda analogía hay un modelo, considerado como la abstracción de las correspondencias entre ambos dominios (Duit, 1991). A su vez, los modelos guardan cierta analogía con el objeto, sistema, fenómeno o proceso que representan, de manera que se puedan derivar hipótesis (y/o predicciones) del mismo y someterlas a prueba.

Por ello, autores como Harrison y Treagust (2000) llaman modelos analógicos a los modelos científicos, por ser una representación simpli-

ficada o exagerada de un objeto o proceso, donde existe una evidente correspondencia entre el modelo y el fenómeno científico que describe y explica su estructura y funciones.

Pero a diferencia de las analogías, los modelos pueden no mantener la similitud estructural entre los dominios. Un modelo no es una copia de la realidad; por el contrario, puede resultar más útil cuanto más difiere de ella. Por ejemplo, los modelos de «gas ideal» u «orbital atómico». Un modelo es una construcción hipotética, una herramienta de investigación útil para obtener información acerca de un objeto de estudio que no puede ser observado o medido directamente. No se basa, como una analogía, en un dominio conocido.

En el aprendizaje, tanto con el uso de analogías como de modelos, suelen transferirse textualmente características de un dominio a otro. Con las analogías se pueden establecer correspondencias inadecuadas del análogo al objetivo, es decir, propiedades del análogo que no tiene el objetivo; y con los modelos suelen asignarse características reales a lo modelado («el átomo de cobre es maleable»), o incluso, hasta otorgarle existencia real al modelo.

En la investigación llevada a cabo sobre el uso de analogías en la enseñanza del equilibrio químico, se observó que muchos autores no llaman a sus propuestas «analogías», más bien se encontró una gran diversidad terminológica, al usarse como sinónimos: analogía y modelo, además de otros términos, como símil, experimento o demostración.

### Analogías en la enseñanza del equilibrio químico

La naturaleza abstracta del concepto *equilibrio químico* es resaltada por muchos autores que estudiaron las dificultades en su aprendizaje. Entre ellos Johnstone y otros (1977) mencionan que los aspectos más abstractos de este tema son: su naturaleza dinámica, distinguir entre situaciones de no equilibrio y situaciones de equilibrio, la manipulación mental del principio de Le Chatelier y tratar con consideraciones sobre la energía. Por ello, las analogías han sido muy utilizadas como apoyo a la enseñanza del equilibrio químico.

Sobre el equilibrio químico se encuentran ejemplos precursores de analogías para la enseñanza como la analogía hidráulica sugerida por Rakestraw en 1926, y hasta la actualidad se siguen presentando para este tema propuestas de analogías con una gran diversidad de formatos, por ejemplo, la de Bartholow (2006), con monedas que se mueven de una pila a la otra. En una investigación más amplia, Raviolo (2005) realiza un inventario de las analogías informadas para el equilibrio qui-

**Cuadro 1<sup>1</sup>.** Clasificación de analogías encontradas sobre el equilibrio químico (Raviolo, 2005).

- Análogos cotidianos:
  - Danzas, parejas (ej. Hildebrant, 1946).
  - Dos grupos lanzándose objetos (ej. Hambly, 1975).
  - Cinta de correr (ej. Mickey, 1980).
  - Escalera mecánica (ej. Hill y Colman, 1978).
  - Peces en acuarios (ej. Russell, 1988).
  - Insectos (ej. Olney, 1988).
  - Dos operarios trabajando (ej. Garritz, 1997).
  - Pelotas en un vehículo (ej. Pimentel, 1963).
- Juegos:
  - Con fichas, cubos (ej. Edmonton y Lewis, 1999).
  - Con esferas (ej. Cullen, 1989).
  - Con clips (ej. Desser, 1996).
- Experimentos con cambios físicos:
  - De cambio de fase (ej. Nuffield, 1970).
  - De solubilidad (ej. Lees, 1987).
  - Con elásticos (ej. Smith, 1977).
- Transferencias de fluidos:
  - Vasos o recipientes pequeños (ej. Kauffman, 1959).
  - Sifón (ej. Hansen, 1996).
  - Bombas (ej. Weigang, 1962).
  - Jeringas (ej. Thomson, 1976).
- Máquinas:
  - Movimiento bloques (ej. Slabaugh, 1949).
  - Movimiento de esferas por aire (ej. Sawyer y Martens, 1992).
  - Movimiento de esferas por paletas (ej. Rämme, 1995).
  - Balanza, sube y baja (ej. Green, 1982).
  - Poleas (ej. Thomson, 1976).
  - Leyes mecánica (ej. Canagaratna y Selvartnam, 1970).

mico, que incluye 56 propuestas de analogías, que se clasificaron en 24 tipos de acuerdo a las características del análogo, y estas a su vez se ubicaron en 5 grupos (cuadro 1):

1. Análogos cotidianos.
2. Juegos.
3. Experimentos con cambios físicos.
4. Transferencias de fluidos.
5. Máquinas.

No podemos dedicar espacio en este artículo a la descripción de todo un conjunto de analogías sobre el equilibrio químico, solamente hemos incluido más adelante la de un libro de la ACS (2005) y la de uno de

los autores (Garritz, 1997). Por ello se recomienda al lector interesado un artículo paralelo que publicamos con algo más de extensión para la misma monografía pero que aparecerá en *Educación Química* (Garritz y Raviolo, 2007).

Solo mencionaremos que entre los aspectos del equilibrio químico ilustrados por los 24 tipos de analogías que muestra el cuadro 1 se destacaron, por ejemplo: el aspecto dinámico (71%) o la igualdad de la velocidad directa con la velocidad inversa (63%). A su vez, entre las ideas erróneas que pueden transmitir estas analogías se resaltaron, por ejemplo: la compartimentación del equilibrio (no coexistencia de todas las especies en el mismo recipiente) (75%) o la idea de que la concentración de reactivos es igual a la concentración de productos en el equilibrio (17%).

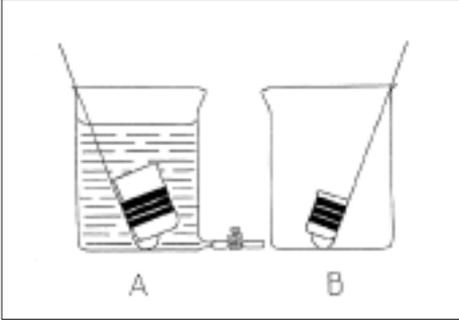
### Analogías presentadas en libros de texto

Los autores de libros de texto de ciencias utilizan analogías como una estrategia para facilitar el aprendizaje de conceptos abstractos, pero no se observa que hayan asumido las recomendaciones sugeridas por la investigación en este campo, como por ejemplo, algunos consejos sobre las características y posición de las analogías en los textos o sobre las estrategias más adecuadas para presentarlas (Curtis y Reigeluth, 1984).

#### La analogía de «los vasos de diferente tamaño»

En un libro reciente, *Química* (ACS, 2005), elaborado con base en actividades, aparece la analogía de «los vasos de diferente tamaño» para ejemplificar el equilibrio químico (Sorum, 1948; Kauffman, 1959): cada dos estudiantes trabajan en pequeños grupos para discutir, reunir y analizar los resultados. Cada uno de los estudiantes tiene un recipiente de plástico de 10 cm de altura (como una cubeta o una pecera; véase la figura 1). Se añade agua hasta llenar uno de los dos recipientes hasta las dos terceras partes de su volumen y el del otro estudiante se deja vacío. Uno de los estudiantes tiene un pequeño vaso de 100 mL y el otro un vaso de 250 mL, con los cuales toman el agua que pueden de su recipiente (sin tratar de llenar el vaso si ello no es posible) y lo transvasan al de su compañero en cada ocasión, hecho que repiten varias veces. Se van anotando los volúmenes de agua en ambos recipientes. Se pregunta en este libro «¿Qué se observa en relación con el nivel del agua en los dos recipientes? ¿Existe alguna diferencia en saber qué recipiente contenía inicialmente agua? ¿Qué se podría predecir si hubiéramos partido de dos recipientes con diferentes cantidades de agua?».

**Figura 1.** Inicio de la analogía de «los vasos de diferente tamaño» con el recipiente A casi lleno de agua



Thiele y Treagust (1994) analizaron las analogías presentadas en diez libros de texto de química australianos para el nivel medio, y concluyeron que el uso frecuente de analogías simples (que constan solo de un objetivo, un análogo y un conector del tipo «es como»), y la carencia de afirmaciones sobre sus limitaciones, pueden crear problemas en el aprendizaje de los estudiantes.

Los temas para los cuales se presentó mayor número de analogías fueron los de naturaleza no observable como estructura atómica (23%), enlace (13%) y energía (12%); el tema del equilibrio químico se ubicó con 5% del total. El formato de las analogías presentadas mostró un 53% de escrito-verbal y un 47% de pictórico-verbal, donde la analogía verbal es reforzada con un dibujo o una foto.

También los análogos y los objetivos se clasificaron de acuerdo con su grado de abstracción en concretos o abstractos. Se considera que el dominio es concreto si la analogía es directa y sensorialmente observable y/o consistente con experiencias de la vida diaria de los estudiantes. Como se comprobó en el análisis de las analogías propuestas para el equilibrio químico, la mayoría corresponden al tipo «análogo concreto y objetivo abstracto» dada la finalidad misma de las analogías. Thiele y Treagust hallaron que el 87% de las 93 analogías incluidas en textos eran de este tipo.

### **Un segundo ejemplo: la analogía «del pintor y el despintor»**

Esta es una analogía en la que el carácter dinámico del equilibrio queda fielmente reflejado en el análogo. Su descripción es la del siguiente párrafo (véase la figura 2 en la página siguiente):

Uno de los habitantes de Pintalandia decide pintar la línea de la carretera de 100 metros que conecta su pueblo con Despintalandia, el pueblo de los expertos borradores de pintura. El torpe pintor empieza la línea, pero deja la cubeta con la pintura en su pueblo, en el lugar donde comienza la línea. Por ello, cada vez que se le seca la brocha debe volver atrás, hasta la cubeta, para remojarla. Entonces vuelve a la línea y continúa pintando. Entre tanto, un despintor del otro pueblo toma una esponja con borrador de pintura, camina hasta el extremo de la línea recién pintado y comienza a borrarlo, deshaciendo parcialmente la labor del pintor. Este despintor resulta igual de torpe que el pintor, pues cada vez que se le agota el borrador debe volver a su pueblo a mojar nuevamente su esponja, para volver al extremo de la línea a seguir bo-

rando la pintura. ¿Cuál es el final de la historia? ¿Cómo cambia la distancia de la línea pintada con el tiempo?

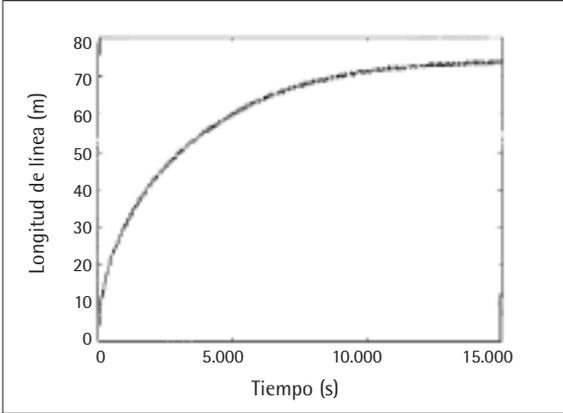
**Figura 2.** El pintor de Pintalandia y el despintor de Despintalandia



En esta analogía (Garritz, 1997), que apareció previamente en un libro de texto (Garritz y Chamizo, 1994), la longitud de la línea de la carretera pintada es el análogo de la concentración de los productos de la reacción, cuando esta empieza desde los reactivos.

Pensando en esta analogía, los estudiantes aceptan que el equilibrio es un proceso dinámico y que el «final de la historia» ocurre desde el momento en que las velocidades de pintado y despintado se igualan, lo cual sucede a una distancia alrededor de la mitad de la carretera. La longitud exacta de la línea de la carretera en cada momento depende de la velocidad de caminata del pintor y del despintor y de su eficiencia en pintar o despintar un cierto número de metros cada vez que «atacan» la línea. Si el pintor y el despintor tienen la misma velocidad y habilidad, la línea deja de crecer exactamente a la mitad del camino entre los dos pueblos. Pero si el pintor es más eficaz que el despintor (lo cual resulta lo lógico, pues pintar es más simple que despintar) la línea llega más allá de la mitad. Ello no quiere decir que la línea deje de ser pintada y despintada en algún momento, esas labores no concluyen nunca: el pintor continúa pintando y el despintor despintando, pero la longitud de la línea oscila mínima-

**Figura 3.** Longitud de la línea pintada bajo ciertas condiciones de velocidad y de eficiencia detalladas en el texto



mente alrededor de la que podemos llamar como «longitud de equilibrio». La figura 3 presenta la distancia conforme el proceso avanza para las siguientes condiciones de velocidad al caminar y eficiencia del pintor y el despintor: la velocidad de caminata del pintor es de 1 m/s y la del despintor, de 0,7 m/s; el pintor logra pintar 1 m de línea con el contenido que puede absorber su brocha, mientras que el despintor puede borrar únicamente 0,5 m cada vez que aplica el borrador. Vemos que el punto de equilibrio se alcanza a los 74 m de Pintalandia.

Sin duda, esta analogía tiene sus limitaciones, pues la longitud de una línea tiene poco que ver con la concentración de los productos en una reacción química, así como eliminar algunas moléculas de reactivos para convertirlas en productos no tiene nada que ver con el despintado, con borrador, de un pedazo de la línea de la carretera. Desde estas consideraciones, el análogo está lejos del objetivo.

### Decálogos e inventarios

Una de las razones del escaso uso de las analogías en el aula es que el profesorado no cuenta con un amplio repertorio de ellas (Duit, 1991). Pero, además de poder contar con un catálogo extenso de analogías, es preciso disponer de una guía metodológica adecuada acerca de cómo ayudar a que el alumnado construya y emplee analogías (AA.VV., 2001). En este sentido, Jarman (1996) denuncia la escasez de consejos prácticos sobre cómo introducir analogías en la enseñanza.

Desde la perspectiva del «conocimiento pedagógico del contenido» (CPC) (Shulman, 1986; Garritz y Trinidad-Velasco, 2004) el profesor o profesora dispone –o debería disponer– de experiencia y recursos didácticos variados en los temas que regularmente enseña, lo que le habilitaría a reconocer las formas más efectivas para comunicar los conocimientos adecuados a estudiantes con antecedentes particulares; entre ellas, analogías, metáforas, ejemplos, símiles, demostraciones, simulaciones, manipulaciones, etc., más apropiados. Entre los autores más explícitos en la presentación de analogías como parte del CPC, debemos citar a Bucat (2004) y a Treagust y otros (2003).

Temas como equilibrio químico, mol y electroquímica han sido sujetos de investigación extensa en cuanto al CPC (De Jong y otros, 2002). A partir de un estudio empírico sobre el tópico del equilibrio químico, van Driel, Verloop y de Vos (1998) concluyen que la mayor fuente del CPC es la experiencia docente y de que su requisito más importante es el conocimiento disciplinario de la materia. En su estudio empírico estos autores revelan el crecimiento del CPC de profesores y profesoras que llevaban varios años enseñando este tema, después de un curso experimental sobre equilibrio químico y un taller de trabajo teórico-experimental que hizo énfasis en los objetivos siguientes:

- Capacidad de reconocer concepciones alternativas específicas de los estudiantes.
- Capacidad de encontrar problemas de complejidad conceptual relativos al tema.
- Promoción del uso de intervenciones y estrategias que conduzcan al cambio conceptual del concepto de *reacción química*, el antecedente del equilibrio.

En este mismo estudio se llega a la conclusión de que el aspecto dinámico del equilibrio es de los problemas más difíciles de lograr, y que ello puede alcanzarse mediante el uso de metáforas y analogías. Algunos de los docentes habían desarrollado su propio conjunto de analogías, mientras que otros empleaban las de libros de texto. Una limitación de muchas de esas analogías es que las moléculas se representaban con personas y que esa «humanización» puede generar confusiones a los estudiantes.

A pesar de que la didáctica de las ciencias ha alcanzado un buen grado de desarrollo para ser un campo de investigación nuevo y que existen manuales sobre los resultados de las investigaciones, estos avances no han sido, en general, asumidos por los docentes. La difusión del producto de la investigación es un tema pendiente, dado que dicho producto no está accesible, especialmente en las condiciones de trabajo del profesorado latinoamericano (publicaciones internacionales no existentes en su biblioteca, generalmente no escritas en español, falta de tiempo real para consultarlas) y, por otro lado, exceso de información. ¿Cuántos de los 56 ejemplos de analogías sobre el equilibrio químico mencionados conoce un buen profesor de secundaria? Se requiere un esfuerzo de búsqueda, selección, depuración y organización de la información, esfuerzo a realizar pensando en la utilidad para el docente. Con este objetivo es que hemos propuesto elaborar decálogos e inventarios (Raviolo y Garritz, 2005).

Un *decálogo* es un conjunto de diez afirmaciones o recomendaciones de los aspectos más generales sobre el conocimiento, la enseñanza o

el aprendizaje de un tema; hasta aspectos específicos, como podría ser la metodología de una demostración, de una experiencia de laboratorio, de una analogía. Consistiría en un intento de sistematizar consensos, de rescatar lo que queda del debate en educación, donde distintas corrientes o modas van atrapando la atención de la investigación. En el cuadro 2 se propone un decálogo sobre el uso de analogías en la enseñanza.

Por su parte, los *inventarios*, que complementan a los decálogos, se refieren a ejemplos concretos de aspectos de la enseñanza y aprendizaje de un tema en particular, por ejemplo, un inventario de las dificultades y concepciones alternativas sobre el equilibrio químico (Raviolo y Martínez Aznar, 2003). Otros aspectos sobre los cuales se podrían realizar inventarios para un contenido son: ideas centrales para su enseñanza, orígenes de las dificultades, enfoques de enseñanza, cuestiones conceptuales, demostraciones, analogías, simulaciones, experimentos de laboratorio, relevancia–aplicaciones, perspectiva CTS, cuestiones de evaluación, evolución histórica y sus implicaciones para la enseñanza del tema.

Coincidentemente, Thiele y Treagust (1994) instaron a desarrollar inventarios docentes de analogías para cada tema de la química, aunque también reconocieron que no solo es necesario que el profesorado cuente con esos inventarios, sino que deberían contar con un modelo de enseñanza que guíe el uso de esas analogías (un decálogo).

#### Cuadro 2. Decálogo para el uso de analogías

1. Contar con un repertorio de analogías para el tema. Prevenir que se va a presentar una.
2. Asegurarse que el análogo sea conocido. Indagar las concepciones sobre el análogo. También se aprende sobre el análogo.
3. Destacar las similitudes entre ambos dominios (análogo y objetivo).
4. Presentar más de una analogía con el mismo objetivo, que partan de distintos análogos para un mismo aspecto o concepto abstracto. Asegurarse de que las analogías provean una buena visualización de lo abstracto.
5. Establecer claramente los límites de la analogía o atributos no compartidos.
6. Recaltar la relación simétrica entre análogo y objetivo. También usar el objetivo para recrear el análogo.
7. Corroborar que se hayan retenido no solo los aspectos más superficiales de la analogía, sino los más profundos con mayor potencial de inferencia.
8. Evaluar la eficacia de la analogía y la posible permanencia o generación de concepciones alternativas asociadas a su introducción.
9. Solicitar que los propios alumnos y alumnas elaboren analogías y las expliquen. Aprovechar el interés generado por el potencial motivador de las analogías.
10. Promover la reflexión metacognitiva: ser conscientes de que se ha empleado una analogía como estrategia cognitiva.

## Conclusiones

No cabe duda de que hoy día la investigación educativa de la química arroja resultados muy favorables para el uso de analogías en la enseñanza. En particular, los autores hemos hablado de las analogías del equilibrio químico y de lo importante que resulta complementar dichas analogías con decálogos e inventarios, como herramientas que permitan desarrollar el CPC del profesorado.

## Nota

1. Todas las referencias que se citan en este cuadro pueden consultarse en Garritz y Raviolo (2007).

## Referencias bibliográficas

- AA.VV. (2001): «Una propuesta didáctica basada en la investigación para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias» en *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 19, n. 3, pp. 453-470.
- ACS (American Chemical Society, Jerry Bell y otros) (2005): *Química. Un proyecto de la ACS*. Barcelona. Editorial Reverté.
- BARTHOLOW, M. (2006): «Modeling dynamic equilibrium with coins» en *Journal of Chemical Education*, vol. 83, n. 1, 48A.
- BUCAT, R. (2004): «Pedagogical content knowledge as a way forward: applied research in chemistry education» en *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 5, n. 3, pp. 215-228.
- CURTIS, R.; REIGELUTH, C. (1984): «The use of analogies in written text» en *Instructional Science*, n. 13, pp. 99-117.
- DE JONG, O.; VEAL, W.; VAN DRIEL, J. (2002): «Exploring chemistry teachers' knowledge base» en GILBERT Y OTROS (eds.): *Chemical Education: Towards Research-based Practice*. The Netherlands. Kluwer, pp. 369-390.
- DUIT, R. (1991): «On the role of analogies and metaphors in learning science» en *Science Education*, vol. 75, n. 6, pp. 649-672.
- GARNETT, P.; TREAGUST, D. (1992): «Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electric circuits and oxidation-reduction equations» en *Journal of Research in Science Teaching*, n. 29, pp. 121-142.
- GARRITZ, A. (1997): «The painting-sponging analogy for chemical equilibrium» en *Journal of Chemical Education*, vol. 74, n. 5, pp. 544-545.
- GARRITZ, A.; CHAMIZO, J.A. (1994): *Química*. Welmington. Delaware (EE.UU.). Addison-Wesley.
- GARRITZ, A.; TRINIDAD-VELASCO, R. (2004): «El conocimiento pedagógico del contenido» en *Educación Química*, vol. 15, n. 2, pp. 98-102.
- GARRITZ A.; RAVIOLLO, A. (2007): «Analogías en la enseñanza del equilibrio químico: algunos ejemplos» en *Educación Química*, vol. 18, n. 1, en prensa.
- HARRISON, A.; DE JONG, O. (2005): «Exploring the use of multiple analogical models when teaching and learning chemical equilibrium» en *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 42, n. 10, pp. 1135-1159.

- HARRISON, A.; TREAGUST, D. (2000): «A typology of school science models» en *International Journal of Science Education*, vol. 22, n. 9, pp. 1011-1026.
- JARMAN, R. (1996): «Student teachers' use of analogies in science instruction» en *International Journal of Science Education*, vol. 18, n. 7, pp. 869-880.
- JOHNSTONE, A.; MACDONALD, J.; WEBB, G. (1977): «Chemical equilibrium and its conceptual difficulties» en *Education in Chemistry*, n. 14, pp. 169-171.
- KAUFFMAN, G. (1959): «Dynamic equilibrium: a student demonstration» en *Journal of Chemical Education*, vol. 36, n. 3, p. 150.
- RAKESTRAW, N. (1926): «Demonstrating chemical equilibrium» en *Journal of Chemical Education*, vol. 3, n. 4, pp. 450-451.
- RAVILOLO, A. (2005): *Enseñanza y aprendizaje de modelos sobre el equilibrio químico*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- RAVILOLO, A.; MARTÍNEZ AZNAR, M. (2003): «Una revisión sobre las concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico» en *Educación Química*, vol. 14, n. 3, pp. 60-66.
- RAVILOLO, A.; GARRITZ, A. (2005): «Decálogos e inventarios» en *Educación Química*, n. 16 (extr.), pp. 122-128.
- SHULMAN, L. (1986): «Those who understand: knowledge growth in teaching» en *Educational Researcher*, vol. 15, n. 2, pp. 4-14.
- SORUM, C. (1948): «Lecture demonstrations for general chemistry» en *Journal of Chemical Education*, vol. 25, n. 9, pp. 489-490.
- THIELE, R.; TREAGUST, D. (1994): «The nature and extend of analogies in secondary chemistry textbooks» en *Instructional Science*, n. 22, pp. 61-74.
- TREAGUST, D.; DUIT, R.; NIESWANDT, M. (2000): «Sources of students' difficulties in learning Chemistry» en *Educación Química*, vol. 11, n. 2, pp. 228-235.
- TREAGUST, D.; CHITTLEBOROUGH, G.; MAMIALA, T. (2003): «The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations» en *International Journal of Science Education*, vol. 25, n. 11, pp. 1353-1368.
- VAN DRIEL, J.; VERLOOP, N.; DE VOS, W. (1998): «Developing science teachers' pedagogical content knowledge» en *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 35, n. 6, pp. 673-695.

Direcciones  
de contacto

Andrés Raviolo  
Universidad Nacional del Comahue. Bariloche (Argentina)  
[araviolo@bariloche.com.ar](mailto:araviolo@bariloche.com.ar)  
Andoni Garritz  
Universidad Nacional Autónoma de México  
[andoni@servidor.unam.mx](mailto:andoni@servidor.unam.mx)