

ZAMORANO, Raúl et al. Formación de profesores: estrategias de modelado didáctico en la enseñanza de las ciencias experimentales. En: Revista ieRed: Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa [en línea]. Vol.1, No.4 (Enero-Junio de 2006). Disponible en Internet: <<http://revista.iered.org>>. ISSN 1794-8061

Copyright © 2006 Revista ieRed.

Se permite la copia, presentación y distribución de este artículo bajo los términos de la Licencia Pública Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs v2.0 la cual establece que: 1) se de crédito a los autores originales del artículo y a la revista; 2) no se utilicen las copias de los artículos con fines comerciales; 3) no se altere el contenido original del artículo; y 4) en cualquier uso o distribución del artículo se den a conocer los términos de esta licencia. La versión completa de la Licencia Pública Creative Commons se encuentra en la dirección de Internet: <<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/>>

FORMACIÓN DE PROFESORES: ESTRATEGIAS DE MODELADO DIDÁCTICO EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES

Raúl O. Zamorano; Horacio M. Gibbs; Javier E. Viau; Lucrecia E. Moro
raulscarzamorano@yahoo.com.ar

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Física
Universidad Nacional de Mar del Plata
Mar del Plata – Argentina

El aprendizaje de la ciencia requiere de una reorganización de las representaciones intuitivas que tienen los alumnos, muchas veces establecidas a través de relaciones de causalidad simple. Este cambio representacional debe incorporar la comprensión de los conceptos y los modos de elaboración de las ciencias para lo cual se evoluciona desde los modelos conceptuales hacia los teóricos. La intermediación se puede realizar a través de la instrucción utilizando modelos didácticos analógicos. Los modelos didácticos son nuevas representaciones de los modelos teóricos para exponerlos ante los alumnos reduciendo su nivel de abstracción matemática y hacerlos más accesibles (Aduriz-Bravo y Galagovsky, 1997). Sin disminuir la característica conceptual del modelo teórico, se trata de transfigurarlo mediante esquemas que utilicen sucesivas analogías, mientras que se mantiene la continuidad conceptual ya que permanecen los referentes ontológicos (Putnam, 1975). Las analogías son una herramienta importante para la instrucción pero a condición de que el profesor y los alumnos adquieran una visión en común sobre el análogo y se describan sus limitaciones comparado con el modelo teórico. Se espera del alumno una toma de conciencia sobre sus procesos y eventos cognitivos para que pueda evaluar los progresos y resultados, comprendiendo su propia versión acerca de la naturaleza de su conocimiento y sobre el proceso de aprendizaje, es decir sobre sus esencias epistemológicas.

1. INTRODUCCIÓN

Se ha escrito mucho desde la historia y la filosofía sobre el rol que juegan los modelos y el modelado en el proceso científico, así como en sus producciones (Black, 1962; Giere, 1990; Hesse, 1966; Bunge, 1978). Se ha sugerido que representa el mejor retrato de la actividad científica (Gilbert, 1991).

Respecto de la educación científica, en los últimos años hubo un deslizamiento referido a la importancia atribuida al modelado en clase (Lawson, 1993; Thiele & Treagust, 1995). Este corrimiento en lo pedagógico implica un cambio en la actividad docente ya que se

necesita la elaboración, evaluación y aplicación de los modelos. También se requieren conocimientos acerca del desarrollo de los estudiantes y de la práctica diaria de los profesores (Lehrer & Schauble, 2000).

Lamentablemente, la preparación de los profesores de ciencias; es pobre en este aspecto y en muchos casos se comprueba que adquieren similares modelos conceptuales que sus futuros alumnos. Debido a la falta de contenidos epistemológicos en los programas de los profesorado se tiende a utilizar el modelado de forma “ad hoc” sin advertir las limitaciones de las analogías (Harrison & Treagust, 1994a). Similares resultados obtienen Islas y Pesa (2004), quienes investigan acerca de las concepciones de los profesores sobre el modelado y su utilización en la práctica docente, destacando que en general existe un desconocimiento del tema y lo relacionan también con una falta de formación epistemológica.

La aplicación didáctica del modelado puede ser considerada como un razonamiento continuo en el cual el profesor comienza conociendo las capacidades representacionales básicas de los alumnos (modelos conceptuales) y trata de aproximarse al entramado de conocimientos científicos (modelos teóricos). En el medio tiene que existir una forma de intermediación representacional (modelos didácticos analógicos).

Los modelos didácticos analógicos han sido categorizados de diferentes formas, por su formato de presentación, su nivel de representación y sus funciones en el proceso de enseñanza (Curtis & Reigeluth, 1984; Thiele & Treagust, 1994; Venville & Treagust, 1996). Pero en la mayoría de los casos la evaluación de su efectividad didáctica no ha sido puesta a prueba en presencia de los alumnos.

En este trabajo pretendemos establecer fundamentos y pautas para el uso del modelado en clase, para lo cual se necesita de una práctica docente sistemática del mismo que permita explorar variedades de modelos y evaluar su adecuación a la enseñanza.

En la formación de los profesores se debe enfatizar el análisis epistemológico de lo que significa el modelado en la investigación científica, ya que involucra a la estructura misma de las ciencias de la naturaleza. Pero proponemos una modificación conceptual, desde la concepción de los modelos como una simple representación, hacia la consideración de los mismos como una herramienta efectiva de enseñanza y aprendizaje. Algunos profesores estiman que es relevante la enseñanza “acerca de” los modelos ya que constituyen la clave de lo que “hacen los científicos”. Pero aun no se observa en el aula la enseñanza científica “utilizando” modelos.

Esta perspectiva didáctica debería formar parte y ser utilizada en los cursos de los profesorado en ciencias resaltando lo concerniente al desarrollo de una clase real, tanto en los tiempos como en consideraciones procedimentales, así como destacando la importancia del modelado en la investigación científica. Nosotros hemos comprobado la efectividad de los modelos didácticos para la instrucción y lo hemos expuesto en diversos trabajos (Zamorano, Gibbs y Viau, 2003, 2006; Zamorano, Gibbs, Viau y Moro, 2004, 2005).

2. MARCO TEÓRICO

La perspectiva de la utilización del modelado en la enseñanza concuerda con la evidencia de que los primeros razonamientos de los niños están contenidos dentro de una amplia variedad de dispositivos representacionales, los que inicialmente involucran imágenes visuales y alguna otra forma de simbolización del mundo externo (Latour, 1990; Lehrer & Schauble, 2000). Aun en etapas tempranas se observa en los niños la capacidad fundamental de expresar a una cosa como representada por otra. La ciencia cognitiva, que incorpora conceptos desde la filosofía de la ciencia, la neurofisiología y la lingüística, parte de la noción de representación. Un proceso cognitivo es un conjunto de operaciones de pensamiento que manipulan representaciones y éstas deben tener contenidos que los hagan semánticamente evaluables y valorables epistémicamente.

Con las primeras formas de competencia representacional de la naturaleza se establecen los cimientos para el desarrollo de razonamientos basados en modelos. Un modelo, además de operar con representaciones, debe llevar a un entendimiento de fenómenos naturales controlando su ejecución e infiriendo relaciones entre elementos de información.

Los estudiantes traen al aula modelos espontáneos, básicamente útiles aunque no necesariamente verdaderos desde el punto de vista científico (Duit, 1991), con los cuales ya explicaban al mundo antes de ir a la escuela. Estos modelos les permiten hacer predicciones y decidir las acciones a tomar. Johnson-Laird (1998) los denomina modelos mentales, definidos como una representación de un cuerpo de conocimientos que satisface las siguientes condiciones:

- Su estructura corresponde a la situación que representa
- Constan de elementos que corresponden a entidades perceptibles que pueden ser concebidas como imágenes
- No contienen variables, pues representan entidades específicas

Los modelos mentales son análogos estructurales del mundo. Permiten saber lo que causa un fenómeno, lo que resulta de él y cómo iniciarlo o evitarlo.

Nosotros seguimos a Mayer (1989) quien define a los modelos implícitos de los estudiantes como modelos conceptuales. Nos apartamos de Johnson-Laird (1983), quien utiliza este término para otra clase de representaciones.

2.1 Modelos conceptuales

En resumen, consideramos que los alumnos elaboran modelos que les permiten explicar un sistema físico con representaciones analógicas de la realidad. Un modelo conceptual es un constructo mental funcional que está asociado con un concepto o con un tema específico y que puede ser utilizado para obtener resultados explicatorios. Contiene relaciones causales directas como respuesta a situaciones problemáticas, pero son no-científicos. Son funcionales para cada persona, son incompletos, inestables y no tienen fronteras bien definidas. Están ligados, a veces, a representaciones proposicionales e imágenes.

2.2 Modelos teóricos

Nosotros distinguimos entre los modelos conceptuales de los estudiantes y los modelos enseñados, los que constituyen representaciones externas que tienden a un modelo cuantitativo. A estos modelos, que se constituyen como un sistema hipotético-deductivo, los llamamos modelos teóricos. Los modelos teóricos están contenidos dentro de una teoría general. Un modelo teórico no opera por analogía sino a través y por medio de una analogía subyacente. Describe entidades y sistemas o mecanismos. Las teorías generales son incontrastables mientras que los modelos teóricos se pueden contrastar porque están acotados a conceptos definidos. Mientras los modelos conceptuales son intuitivos, los modelos teóricos requieren instrucción, no son espontáneos.

2.3 El proceso de conceptualización

El entendimiento de los modelos teóricos se establece a través de procesos cognitivos que generan justificaciones y predicciones. Es central en el conocimiento científico la necesidad de entender situaciones causales y secuenciales y para ello se debe partir de estados pro-generativos (Newton, 1996) que son constituyentes de los modelos conceptuales. Esta actividad requiere de la elaboración de situaciones intermedias para reconstruirlos y reformularlos haciéndolos fructíferos.

De modo que los estados pro-generativos, ya sean declarativos o procedimentales, deben ser procesados. Estos procesos se refieren a la articulación, manipulación y desplazamiento de los mismos transformando a los modelos conceptuales (Hegarty & Just, 1993; Glenberg & Langston, 1992) hacia el modelo teórico. Se requieren reglas de inferencia que generen estados en paralelo a la situación a ser entendida, así se produce un modelo conceptual generativo (Perkins & Unger, 1994).

Estas articulaciones involucran muchas veces a representaciones espaciales, diagramas que se utilizan a modo de una memoria para posteriores procesamientos (Glenberg & Langston, 1992). Estas relaciones son más fácilmente aceptadas si el encadenamiento temporal de las secuencias causales se corresponde al orden natural de los eventos.

De modo que para comprender el modelo teórico se deben establecer previamente modelos conceptuales generativos que tengan la habilidad de reestructurar las representaciones y transferirlas. Este proceso implica una mezcla de conocimiento descriptivo (conocer qué) y procedimental (conocer cómo), además de estrategias y un control metacognitivo (Eylon & Linn, 1988).

Los alumnos establecen modelos propios que les permiten explicar un sistema físico con representaciones analógicas. Pero la conceptualización teórica no se produce únicamente por la articulación del marco conceptual previo sino que puede incorporar, muchas veces a través de la instrucción, otros conceptos independientemente de los previos. Aún en dominios científicos hay diferencias ontológicas y epistemológicas entre modelos. Aquí es donde utilizamos la noción, introducida por Mortimer (1995), de perfil conceptual, que establece que un único concepto puede estar disperso entre varios tipos de pensamiento y presentar también características ontológicas diversas, de modo que todo alumno puede poseer más de un modelo conceptual que podrá ser usado en contextos apropiados.

Después de la instrucción, y aun habiendo resuelto correctamente algunos problemas, el alumno puede volver a sus concepciones primarias. Una razón es que el entendimiento conceptual no se constituye sólo con generalizaciones sino que debe ser apuntalado por reglas de inferencia, ya que los conocimientos permanecerán como inertes a menos que estén relacionados a lo procedimental.

2.4 Modelos didácticos analógicos

La reformulación y articulación de las representaciones se sustenta incorporando analogías. La elaboración de un modelo generativo partiendo de estados pro-generativos es intermediada por estructuras analógicas en paralelo con las representaciones existentes (Newton, 1996). Las analogías son centrales para el entendimiento y el razonamiento (de Jong, 1988; Goswami & Brown, 1990; Halford, 1993; Garnham & Oakhill, 1994) y se definen como un desplazamiento desde una estructura conocida (la base) a otra (la muestra). La base se supone conocida o entendida por el alumno mientras que las características de la muestra deben ser inferidas (Gentner & Stevens, 1983).

Las analogías son herramientas poderosas que se utilizan en el proceso de enseñanza-aprendizaje para hacer familiar aquello que no es muy asequible. Permiten relacionar una situación cotidiana para el alumno con otra desconocida o nueva, facilitando la relación de la información y la elaboración de estructuras de conocimiento más comprensibles. Contribuyen, de esta forma, a un aprendizaje menos memorístico y más significativo (Duit, 1991; Glynn, 1991). Su objetivo es facilitar la comprensión de los conceptos científicos teóricos, conceptos para los que no existen ejemplos perceptibles en el entorno.

El uso de las analogías en el proceso de enseñanza-aprendizaje lleva implícito el establecimiento de correspondencias, semejanzas y relaciones entre dos situaciones diferentes, la familiar y la desconocida o nueva. Aunque ambas situaciones son parecidas, la analogía nunca será total: existirán siempre limitaciones y elementos no pertinentes entre las situaciones. Por este motivo surge la necesidad de un modelo que guíe o que tutele el uso y la construcción de las analogías, tanto para las de los libros de texto como para las que desarrolla el profesor en el aula. Es decir, un modelo que nos garantice el uso efectivo y la construcción de las analogías sobre la base de lo que los alumnos ya conocen.

Los modelos didácticos son nuevas representaciones de los modelos teóricos para exponerlos ante los alumnos, reduciendo su nivel de abstracción matemática, y hacerlos más accesibles (Aduriz-Bravo y Galagovsky, 1997). Sin disminuir la característica conceptual del modelo teórico, se trata de transfigurarlo mediante esquemas que utilicen sucesivas analogías, mientras que se mantiene la continuidad conceptual, ya que permanecen los referentes ontológicos (Putnam, 1975).

El modelo didáctico deberá relacionar analógicamente y de forma estricta los componentes sustitutivos y los originales. Sus relaciones funcionales también deberán analogarse. Se trata en definitiva de activar en los estudiantes la intuición y la imaginación visual. Las imágenes mentales tienen un carácter analógico que contribuye a un desarrollo representacional que comienza en lo figurativo y termina en lo proposicional.

3. LA FORMACIÓN DE PROFESORES. EL MODELADO Y SU DIDÁCTICA

El aprendizaje de la ciencia requiere de una reorganización de las representaciones intuitivas que tienen los alumnos, muchas veces establecidas a través de relaciones de causalidad simple. Este cambio representacional debe incorporar la comprensión de los conceptos y los modos de elaboración de las ciencias, para lo cual se evoluciona desde los modelos conceptuales hacia los teóricos. La intermediación se puede realizar a través de la instrucción utilizando modelos didácticos analógicos.

Distintos autores (Cullin & Crawford, 2003) han propuesto sustentar la enseñanza del nivel medio formando los profesores a través del modelado tanto en los contenidos científicos, en la naturaleza de la ciencia, como en las estrategias necesarias para las clases. Pero encuestas realizadas a docentes de ciencias señalan una visión limitada de los modelos. Se los considera meramente una representación descriptiva de los fenómenos a fin de ser utilizada por los que lo entienden y dirigida hacia quienes no lo entienden, pero esto no es lo esencial en una clase de ciencias (Islas y Pesa, 2004; Smit & Finegold, 1995). Los profesores tampoco tienen en cuenta su utilización para la formulación de hipótesis a pesar del énfasis puesto sobre el poder explicativo y predictivo de los modelos.

Van Driel & Verloop (1999) indican que las diferentes formas de concebir al modelado por parte de los profesores provienen de sus formaciones epistemológicas. La gran mayoría, de orientación constructivista, piensa que pueden coexistir distintos modelos en el estudio de un objeto específico. Otros profesores persisten en utilizar una visión positivista considerando al modelo como un instrumento justificativo de los datos, y si el modelo resulta válido es porque está cercano a la realidad.

Paralelamente, se desaprovecha al modelado como herramienta para el conocimiento explicativo y en sus características procedimentales, así como el desarrollo de habilidades de análisis e interpretación. La actitud del docente será la clave para llevar a cabo la propuesta. Ya que el profesor puede promover en sus alumnos el uso del pensamiento, ampliando un tema de debate a través de la reflexión y la imaginación, o por el contrario puede eliminar esos procesos mediante una mera transmisión, con una explicación fija. Si se diera el primer caso, los recursos didácticos deberán ser elegidos por su susceptibilidad a la transformación conceptual y ser presentados como una invitación a la especulación, de tal forma que el alumno debe llegar a ser parte del proceso de interpretación y elaboración de conocimientos. El lenguaje de la educación no debe ser para el "consumo" de conocimientos sino un desafío para la creatividad, debe expresar actitudes y dejar márgenes para la reflexión y la objetivación. Estos aspectos serán fundamentales para dar un sentido a lo expresado y motivan importantes procesos metacognitivos.

El rol del docente debe ser el de tender puentes entre las representaciones de los alumnos y los modelos científicos, por lo que debe conocer ambas visiones. Las representaciones de los alumnos se conocen a través de sus preconcepciones y nociones empíricas causales. En la actividad de los científicos, además de razonamientos analógicos predominan los simbolismos y las abstracciones.

El profesor deberá establecer un medio pedagógico efectivo para atravesar ambos mundos. De modo que la enseñanza basada en modelos requiere de un conocimiento

del pensamiento de los alumnos y de sus modelos conceptuales. Sabemos que esta perspectiva didáctica puede completarse con la incorporación de relaciones cuantitativas, es decir de apropiados modelos matemáticos que expresen al mundo cabalmente.

La analogías son una herramienta importante para la instrucción pero a condición de que el profesor y los alumnos adquieran una visión en común sobre el análogo y se describan sus limitaciones comparado con el modelo teórico. Se espera del alumno una toma de conciencia sobre sus procesos y eventos cognitivos para que pueda evaluar los progresos y resultados, comprendiendo su propia versión acerca de la naturaleza de su conocimiento y sobre el proceso de aprendizaje, es decir sobre sus esencias epistemológicas.

Toda analogía tiene sus limitaciones y los factores contextuales pueden llevar al alumno a conceptos erróneos, por eso los estudiantes se manifiestan más satisfechos con un control metacognitivo, es decir cuando el profesor los induce a entender cuales son los factores inconvenientes de la analogía propuesta.

3.1 Estrategias didácticas

Si bien se han propuesto diferentes modelos analógicos para la enseñanza de la ciencia, son pocas las aplicaciones directas en clase y se sabe poco acerca de la evolución de las representaciones de los estudiantes. Por otra parte la investigación y experiencia de algunos autores ha comprobado que existen estrategias de presentación de modelos analógicos con fines didácticos que reducen las concepciones propias de los estudiantes y contribuyen a los conocimientos de los modelos teóricos de la ciencia. La efectividad de las analogías depende del método de presentación y si se las utilizan de forma sistemática (Harrison & Treagust, 1994b).

Proponemos los siguientes pasos:

1. Analizar las representaciones cognitivas de los estudiantes considerando al contexto como parte significativa de su mismo razonamiento. Exploración de la zona del perfil conceptual de los estudiantes antes de la instrucción de nuevos conceptos.
2. Los profesores deben comprender los contenidos para poder seleccionar apropiadamente los modelos didácticos (Nottis, 1999; Mc Namara, 1991; Heywood & Parker 1997). Los profesores necesitan desarrollar y disponer de un repertorio de modelos didácticos que sean apropiados para todos los alumnos (Shulman, 1986; Thiele & Treagust, 1994). Deben saber qué clase de modelo están utilizando y cómo manejarlo, teniendo en claro cuáles son sus limitaciones y cuáles sus posibles extensiones y generalizaciones. Si la analogía se utiliza como un organizador, deben existir conceptos enseñados anteriormente. Si la analogía se utiliza para desarrollar nuevos conceptos, deberá ser relevante en sus detalles.
3. Como señalan Brown y Clement (1989), resulta necesario involucrar al estudiante en el proceso de razonamiento analógico en un contexto de enseñanza interactiva en vez de presentar simplemente la analogía. En contraste con ello, en muy pocos casos la analogía se plantea en la práctica docente bajo un formato que favorezca o fomente dicho papel activo. Se recurre escasamente a la realización de actividades como vías alternativas para la construcción de la analogía; por ejemplo, promoviendo que los

alumnos ideen sus propias analogías, utilicen las analogías previamente proporcionadas para hacer predicciones, o descubran y expliciten la analogía que hay de fondo tras las metáforas que se emplean. Cuando se involucra al alumno en el debate y la discusión sobre la analogía sugerida por el profesor, o cuando el profesor promueve en los alumnos el origen, o la construcción de una analogía propia, los resultados obtenidos son prometedores. El uso de los modelos como herramienta del pensamiento debe hacerse explícito y sólo se alcanza la habilidad de modelar mediante una práctica prolongada.

4. Llevar a los alumnos al modelo teórico a través de las similitudes con el modelo didáctico discutiendo con los alumnos sobre las áreas donde el análogo y los conceptos científicos pudieran no corresponderse. Tomar nota de las concepciones alternativas y las conclusiones incorrectas que puedan desarrollar los estudiantes. Las interpretaciones equivocadas de los alumnos pueden provenir también de las concepciones de los profesores sobre el modelado y, en general, porque no se interactúa con ellos para incitarlos a procesos metacognitivos referidos a sus modelos conceptuales y a los enseñados (Van Driel & Verloop, 1999).

4. CONSIDERACIONES FINALES

Si bien no existe ninguna fórmula que nos asegure el aprendizaje de las ciencias, la práctica docente ha mostrado que suministrando estructuras conceptuales analógicas se puede reforzar el entendimiento de los conceptos (Oliva, Aragón, Bonat y Mateo, 2003).

El conocimiento que los profesores tienen sobre el modelado en ciencias es, en términos generales, limitado y presenta inconsistencias, por lo que se debe reforzar la formación y la provisión de información específica. Si los profesores consideran que la instrumentación de la enseñanza a través de modelos es un proceso impuesto externamente a ellos, la probabilidad de fracaso será muy alta. Por el contrario el éxito puede ser grande si se interesan de forma genuina comprendiendo que los modelos analógicos abarcan los métodos, los productos y las herramientas necesarias para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.

Los profesores se deben involucrar en la elaboración y desarrollo de los modelos didácticos analógicos, además les resultará útil analizar los modelos propuestos por los libros de textos y descubrir si éstos cubren los requisitos de un modelo analógico o de uno teórico.

Finalmente si el profesor presenta una analogía planificada como una estrategia didáctica, se comprueba (Treagust, Harrison, Venville y Dagher, 1996) la potencia para inducir a los estudiantes hacia el conocimiento científico según estas pautas:

- Asegurar que el profesor y los estudiantes visualicen el modelo analógico de forma congruente y que se discutan sus características para apuntalar la comprensión y la retención.
- El modelo didáctico analógico debe ser plausible para provocar un deslizamiento hacia el modelo teórico.

- Se deben identificar claramente los errores atribuidos por los estudiantes.
- Las actividades a través de modelos didácticos analógicos necesitan ser guiadas y auditadas según la demanda de los estudiantes. Estas dependen del contexto y de quienes estén aprendiendo. Por eso es fundamental conocer bien las características conceptuales de los alumnos es decir sus perfiles conceptuales, así se podrán incorporar las estructuras de la ciencia a sus habilidades y concepciones previas.

Propuestas de cómo llevar a la práctica un modelo didáctico analógico en distintas áreas del conocimiento han sido abordadas por diferentes autores, entre otros, Zamorano, Gibbs y Viau, 2006; Zamorano, Gibbs, Moro y Viau, 2006, cómo la evaluación de la efectividad de las mismas.

5. REFERENCIAS

ADÚRIZ-BRAVO, Agustín y GALAGOVSKY, Lydia (1997). Modelos científicos y modelos didácticos en la enseñanza de las ciencias naturales. Actas de la X Reunión de Educación en Física. Mar del Plata. Argentina.

BLACK, Max (1962). Models and metaphors. Ithaca, N.Y., Cornell University Press.

BROWN, David y CLEMENT, John (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science*. 18, pp 237-261.

BUNGE, Mario (1978). Filosofía de la Física. Barcelona, Ariel.

CULLIN, Michael & CRAWFORD, Barbara (2003). Using technology to support Prospective Science Teachers in Learning and Teaching About Scientific Models. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Educations Journal*. 2(4), pp 409-426.

CURTIS, Ruth & REIGELUTH, Charles (1984). The use of analogies in written text. *Instructional Science*. 13 pp 99-117.

DE JONG, Gerald (1988). An introduction to explanation based learning. In H. E. Shrobe (Ed.), *Exploring artificial intelligence*. San Mateo, Morgan Kauffman.

DUIT, Reinders (1991). On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. *Science Education*. 75(6), pp 649-672.

EYLON, Bat-Sheva & LINN, Marcia (1988). Learning and instruction: an examination of four research perspectives in science education. *Review of Educational Research*. 58, pp 251-301.

GARNHAM, Alan & OAKHILL, Jane (1994). *Thinking and reasoning*. Oxford, Blackwell.

GENTNER, Dedre & STEVENS, Albert (1983). *Mental models*. Hillsdale, N.Y., Lawrence Erlbaum.

GIERE, Ronald (1990). *Explaining science*. Chicago, University of Chicago Press.

GILBERT, Steven (1991). Models building and a definition of science. *Journal and Research in Science Teaching*. 28(9), pp 799-822.

GLENBERG, Arthur & LANGSTONE, Williams (1992). Comprehension of illustrated text. *Journal of Memory and Language*. 31, pp 129-151.

GLYNN, Shawn (1991). Explaining Science Concepts: A Teaching with Analogies Model. *The Psychology of Learning Science*. Glynn, S; Yeany, R.; Britton (Eds.), Cap. 10°, pp. 219-240.

GOSWAMI, Usha & BROWN, Angela (1990). Melting chocolate and melting snowmen: analogical reasoning and causal relations. *Cognition*. 35(1), pp 69-95.

HALFORD, Graeme (1993). *Children's understanding*. Hillsdale, N. Y., Lawrence Erlbaum.

HARRISON, Allan & TREAGUST, David (1994a). Science analogy. *The Science Teacher*. April, pp 40-43.

HARRISON, Allan & TREAGUST, David (1994b). The three states of matter are like students of school. *Australian Science Teachers Journal*. 2 pp 20-23.

HEGARTY, Mary & JUST, Marcel (1993). Constructing mental models of machines. *Journal of Memory and Language*. 32, pp 717-742.

HESSE, Mary (1996). *Models and analogies in science*. London, Sheen and Ward.

HEYWOOD, David & PARKER, Joan (1997). Confronting the analogy: Primary teachers exploring the usefulness of analogies in the teaching and learning of electricity. *International Journal of Science Education*. 19, pp 869-885.

ISLAS, Stella Maris y PESA, Marta (2004). Concepciones de los profesores sobre el rol de los modelos científicos en clase de Física. *Revista de Enseñanza de la Física*. 17(1), pp 43-50.

JOHNSON-LAIRD, Philip (1983). *Mental models*. Cambridge University Press.

JOHNSON-LAIRD, Philip (1998). *El ordenador y la mente: introducción a la ciencia cognitiva*. Buenos Aires, Paidós.

LATOUR, Bruno (1990). Drawing things together. In M. Lynch & S. Woolgar (Eds.). *Representation in Scientific Practice*. Cambridge, MA, MIT Press.

LAWSON, Anton (1993). The importance of analogy: A prelude to the issue. *Journal and Research in Science Teaching*. 30, pp 1213-1214.

LEHRER, Rich & SCHAUBLE, Leona (2000). Modeling in mathematics and science. In Robert Glaser (Ed.) *Advances in instructional psychology*. Mahwah, N.Y., Lawrence Erlbaum.

MAYER, Richard (1989). Models for understanding. *Review of Educational Research*. 59, pp 43-64.

MC NAMARA, Danielle (1991). Subject knowledge and its applications: Problems and possibilities for teacher education. *Journal of Education Teaching*. 17(2), pp 113-118.

MORTIMER, Eduardo (1995). Conceptual change or conceptual profile change? *Science and Education*. 4, pp 267-285.

NEWTON, Douglas (1996). Causal situations in science: Model for supporting understanding. *Learning and Instruction*. 6(3), pp 201-217.

NOTTIS, Katharyn (1999). Using analogies to teach plate-tectonics concepts. *Journal of Geoscience Education*. 47, pp 449-454.

OLIVA, Jose María; ARAGÓN, María.; BONAT, Manuel y MATEO, Joaquín (2003). Un estudio sobre el papel de las analogías en la construcción del modelo cinético-molecular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*. 21(3), pp 429-444.

PERKINS, David & UNGER, Chris (1994). A new look in representations for mathematics and science learning. *Instructional Science*. 22, pp 1-37.

PUTNAM, Hillary (1975). *Mind, language and reality: Philosophical papers*. Vol 2 Cambridge U.K. Cambridge Univ. Press.

SHULMAN, Lee (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*. 5(2), pp 4-14.

SMIT, J. & FINEGOLD, M. (1995). Models in physics: perceptions held by prospective physical science teachers studying at South African Universities. *International Journal of Science Education*. 19, pp 621-634.

THIELE, Rodney and TREAGUST, David (1994). An interpretive examination of high school chemistry teachers' analogical explanations. *Journal of Research in Science Teaching*. 31, pp 227-242.

THIELE, Rodney and TREAGUST, David (1995). Analogies in chemistry textbooks. *International Journal of Science Education*. 17, pp 783-795.

THIELE, Rodney and TREAGUST, David (1994). The nature and extent of analogies in secondary chemistry textbooks. *Instructional Science*. 22, pp 61-74.

TREAGUST, David; HARRISON, Allan; VENVILLE, Grady & DAGHER Z. (1996). Using an analogical teaching approach to engender conceptual change. *International Journal of Science Education*. 18(2), pp 213-229.

VAN DRIEL, Jan & VERLOOP, Nicolas (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*. 21(11), pp 1141-1153.

VENVILLE, Grady & TREAGUST, David (1996). The rol of analogies in promoting conceptual change in biology. *Instructional Science*. 24, pp 295-320.

ZAMORANO, Raúl; GIBBS, Horacio y VIAU, Javier (2003). Descubriendo los modelos conceptuales de los alumnos: un ejemplo de electrostática. *Visiones Científicas*. 5(2) pp 11-22.

ZAMORANO, Raúl; GIBBS, Horacio y VIAU, Javier (2004). Modelización: Propuesta para el estudio de los modelos de los estudiantes. *Revista Iberoamericana de Educación*. 36.

ZAMORANO, Raúl; GIBBS, Horacio; VIAU, Javier y MORO, Lucrecia (2005). Persistencia de los modelos causales – Factores contextuales en la 3º Ley de Newton. *Revista Iberoamericana de Educación*. 37.

ZAMORANO, Raúl; GIBBS, Horacio y VIAU, Javier (2006). Modelado analógico en la enseñanza de circuitos de corriente continua. *Journal Science Education*. 1(7) pp 30-33.

ZAMORANO, Raúl; GIBBS, Horacio; MORO, Lucrecia y VIAU, Javier (2006). Evaluación de un modelo didáctico analógico para el aprendizaje de energía interna y temperatura. *Revista Eureka*. Revista electrónica de la Asociación de Profesores Amigos de la Ciencia-EUREKA 3(3) pp 392-408.