

EL MODELADO EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA. SU RELEVANCIA EN LA FORMACIÓN DE PROFESORES.

Javier E. Viau; Lucrecia E. Moro; Raúl O. Zamorano; Horacio M. Gibbs
Universidad Nacional de Mar del Plata
mrauloscarzamorano@yahoo.com.ar

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 aún 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 et al 2003, 2004, 2005, 2006).

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). Aún 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. 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,
- consisten de elementos que corresponden a entidades perceptibles que pueden ser concebidas como imágenes,
- no contiene variables, pues representa 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.

Dentro de la variedad de definiciones que existen sobre modelos y del amplio espectro de significados de los mismos (Krapas, Queiroz, Colinvaux y Crespo, 1997) nosotros llamamos modelos conceptuales a los que van elaborando los alumnos partiendo de sus ideas implícitas, y que van evolucionando con la instrucción. Nos apartamos de Johnson Laird, quien utiliza este término para otra clase de representaciones.

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.

Modelos teoréticos

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 teoréticos. Los modelos teoréticos están contenidos dentro de una teoría general. Un modelo teorético 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 teoréticos se pueden contrastar porque están acotados a conceptos definidos. Mientras los modelos conceptuales son intuitivos, los modelos teoréticos requieren instrucción, no son espontáneos.

El proceso de conceptualización

El entendimiento de los modelos teoréticos 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).

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.

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.

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 las características conceptuales del modelo teórico, se trata de transfigurarlos mediante esquemas que utilicen sucesivas analogías, mientras que se mantiene la continuidad conceptual ya que permanecen los referentes ontológicos (Putnam, 1975).

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 han propuesto (Cullin & Crawford, 2003) 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.

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 cuáles son los factores inconvenientes de la analogía propuesta.

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 las zonas 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.

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.

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).

BIBLIOGRAFIA

ADÚRIZ-BRAVO, A. y GALAGOVSKY, L. (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, M. (1962) *Models and metaphors*. Ithaca, N.Y., Cornell University Press.

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

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

CULLIN, M. & CRAWFORD, B. (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).

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

- DE JONG, G. (1988). An introduction to explanation based learning. In H. E. Shrobe (Ed.), *Exploring artificial intelligence*. San Mateo, Morgan Kaufman.
- DUIT, R. (1991). On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. *Science Education*, 75 (6), 649-672.
- GARNHAM, A. & OAKHILL, J. (1994). *Thinking and reasoning*. Oxford, Blackwell.
- GENTNER, D. & STEVENS, A. (1983) *Mentals models*. Hillsdale, N.Y., Lawrence Erlbaum.
- GIERE, R. (1990). *Explaining science*. Chicago, University of Chicago Press.
- GILBERT, S. (1991). Models building and a definition of science. *Journal and Research in Science Teaching*. 28 (9), 799-822.
- GLYNN, S. (1991). *Explaining Science Concepts: A Teaching with Analogies Model*. *The Psychology of Learning Science*. Glynn, S;Yeany, R.; Britton (Eds.), Cap. 10º, pp. 219-240.
- GOSWAMI, U. & BROWN, A. (1990). Melting chocolate and melting snowmen: analogical reasoning and causal relations. *Cognition*. 35 (1), 69-95.
- HALFORD, G. (1993). *Children´s understanding*. Hillsdale, N. Y., Lawrence Erlbaum.
- HARRISON, A. & TREAGUST, D. (1994a). Science analogy. *The Science Teacher*, April, 40-43.
- HARRISON, A. & TREAGUST, D. (1994b). The three states of matter are like students of school. *Australian Science Teachers Journal*. 2, 20-23.
- HEGARTY, M. & JUST M. (1993). Constructing mental models of machines. *Journal of Memory and Language*. 32, 717-742.
- HESSE, M. (1996). *Models and analogies in science*. London, Sheen and Ward.
- HEYWOOD, D. & PARKER, Y. (1997). Confronting the analogy: Primary teachers exploring the usefulness of analogies in the teaching and learning of electricity. *International Journal of Science Education*. 19, 869-885.
- ISLAS, S. y PESA, M. (2004). Concepciones de los profesores sobre el rol de los modelos científicos en clase de Física. *Revista de Enseñanza de la Física*.17 (1), 43-50.
- JOHSON-LAIRD, P. (1983). *Mental models*. Cambridge Cambridge University Press.
- JOHSON-LAIRD, P. (1998). *El ordenador y la mente: introducción a la ciencia cognitiva*. Buenos Aires, Paidós.
- KRAPAS, S.; QUEIROZ, G.; COLINVAUX, D.; FRANCO, C. (1997). Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciencias. *Investigações em Ensino de Ciências*, 2 (3). <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol2/n3/krapas.htm>
- LATOURET, B. (1990). Drawing things together. In M. Lynch & S. Woolgar (Eds.), *Representation in Scientific Practice*. Cambridge, MA, MIT Press.
- LAWSON, A. (1993). The importance of analogy: A prelude to the issue. *Journal and Research in Science Teaching*. 30, 1213-1214.
- LEHRER, R. & SCHAUBLE, L. (2000). Modeling in mathematics and science. In Robert Glaser (Ed.) *Advances in instructional psychology*. Mahwah, N.Y., Laurence Erlbaum.
- MC NAMARA, D. (1991). Subject knowledge and its applications: Problems and possibilities for teacher education. *Journal of Education Teaching*, 17 (2), 113-118.
- MORTIMER, E. (1995). Conceptual change or conceptual profile change? *Science and Education*. 4, 267-285.
- NEWTON, D. (1996). Causal situations in science: Model for supporting understanding. *Learning and Instruction*. 6 (3), 201-217.
- NOTTIS, K. (1999). Using analogies to teach plate-tectonics concepts. *Journal of Geoscience Education*. 47, 449-454.

- PERKINS, D. & UUNGER, C. (1994). A new look in representations for mathematics and science learning. *Instructional Science*. 22, 1-37.
- PUTNAM H. (1975). *Mind, language and reality: Philosophical papers*. Vol 2 Cambridge U.K. Cambridge Univ. Press.
- SHULMAN, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*. 5 (2), 4-14.
- SMIT, Y. & FINEGOLD, M. (1995). Models in physics perceptions held by final-year prospective physical science teachers studying of South African Universities. *International Journal of Science Education*. 19, 621-634.
- THIELE, R. y TREAGUST, D. (1994). An interpretive examination of high school chemistry teachers' analogical explanations. *Journal of Research in Science Teaching*. 31, 227-242.
- THIELE, R. y TREAGUST, D. (1994). The nature and extent of analogies in secondary chemistry textbooks. *Instructional Science*. 22, 61-74.
- THIELE, R. y TREAGUST, D. (1995). Analogies in chemistry textbooks. *International Journal of Science Education*, 17, 783-795.
- VAN DRIEL, J. & VERLOOP, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21 (11), 1141-1153.
- VENVILLE, G. & TREAGUST, D. (1996). The role of analogies in promoting conceptual change in biology. *Instructional Science*. 24, 295-320.
- ZAMORANO, R.; GIBBS, H; VIAU, J. (2003). Descubriendo los modelos conceptuales de los alumnos: un ejemplo de electrostática. *Visiones Científicas*, 5 (2) 11-22.
- ZAMORANO, R.; GIBBS, H; VIAU, J. (2004). Modelización: Propuesta para el estudio de los modelos de los estudiantes. *Revista Iberoamericana de Educación*, 36.
- ZAMORANO, R.; GIBBS, H; VIAU, J. Moro, L. (2005). Persistencia de los modelos causales – Factores contextuales en la 3ª Ley de Newton. *Revista Iberoamericana de Educación*. 37.
- ZAMORANO, R.; GIBBS, H; VIAU, J. (2006). Modelado analógico en la enseñanza de circuitos de corriente continua. *Journal Science Education*. 1 (7) 30-33.