

***Estrategias didácticas en
Ciencias Biológicas:
reflexiones en torno a la
enseñanza basada en modelos***

Silvia Gallarreta *

Introducción

Desde diversas fuentes ha sido señalado reiteradamente que a los estudiantes les resulta difícil el aprendizaje de los contenidos científicos. Pese a los esfuerzos de la investigación educativa de las últimas décadas, todavía no es fácil responder a interrogantes acerca de por qué los estudiantes aprenden poco y mal de y sobre la ciencia, cuáles son las causas de la ineficacia de las metodologías de enseñanza o las razones de la falta de motivación de los estudiantes para aprender, entre otras cuestiones.

Esta situación no se ha registrado únicamente en nuestro país: como ha señalado Giordan (1985), también en otros medios los estudiantes egresan de los distintos niveles de la enseñanza con

* Profesora en Ciencias Biológicas. Magister en Enseñanza de las Ciencias Experimentales - Mención Biología. Docente e investigadora del Departamento de Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires - Tandil - Argentina.
Correspondencia: E-mail: sgallar@rec.unicen.edu.ar

una idea deformada y poco estimulante del quehacer científico, con un cúmulo de hechos sin perspectiva y con estrategias de apropiación del conocimiento que se basan en mecanismos repetitivos. Frente a esta realidad, la formación del espíritu científico no pasa de ser un buen deseo.

Sin embargo, no puede negarse que en las últimas décadas se han logrado importantes avances.

Por ejemplo, contra el telón de fondo de las ideas constructivistas, el amplio movimiento que exploró las concepciones alternativas de los estudiantes en diferentes disciplinas y contextos, proporcionó nuevas bases para la orientación de la enseñanza por parte de los profesores.

Aunque el movimiento constructivista ha recibido serias y bien fundadas críticas (Matthews, 1994, 1998; Osborne, 1996), sus logros incluyen un cambio de imagen hacia un sujeto activo, capaz de seleccionar, asimilar y procesar información, así como de interpretarla y darle significado, todo esto a partir de sus conocimientos previos.

Por otra parte, resulta difícil desoír las voces que reprochan al constructivismo el haber llevado a una confusión entre la producción del conocimiento por parte de los científicos y el aprendizaje de conocimientos por parte de los alumnos, así como la debilidad de ofrecer poca guía a los profesores para la selección y secuenciación de contenidos (Gilbert y otros, 2000) y otras actividades relacionadas con la enseñanza.

Con respecto a la relación entre la “ciencia de los científicos” y la “ciencia escolar”, desde diversas perspectivas se han realizado aportes para su esclarecimiento. Aunque actualmente se acepta mayoritariamente que ambas difieren en aspectos tan centrales como su naturaleza, objetivos, actores, contextos en los que se producen,

criterios de validación, etc., no puede negarse que la didáctica de las ciencias ha tomado y sigue tomando a los modos de producción del conocimiento científico como un referente ineludible.

Esto no significa, obviamente, asumir que procedimientos ampliamente utilizados en la construcción de las ciencias biológicas, tales como la observación, la formulación y puesta a prueba de hipótesis o la experimentación, sean aplicados sin más trámite a la realidad de las aulas. Desde luego, son contenidos relevantes a la hora de enseñar ciencias, pero únicamente luego de haber sido transformados en objetos de conocimiento pasibles (y posibles) de ser enseñados y aprendidos.

Aunque actualmente no pueda asegurarse que se les dedique la misma atención que a los contenidos de tipo conceptual, los procedimientos mencionados han estado presentes en las propuestas curriculares de los diferentes niveles desde varias décadas atrás.

Sin embargo, otros procedimientos que los científicos ponen en práctica cuando hacen ciencia, no han ocupado hasta ahora un lugar importante en la enseñanza de las ciencias biológicas, aun cuando parecen sugerir ideas verdaderamente valiosas al momento de pensar estrategias didácticas.

Tomando en consideración lo dicho, comentaremos en primer lugar los hallazgos de algunos investigadores que han focalizado sus estudios en la actividad de científicos del pasado y del presente. Luego haremos algunas discriminaciones entre conceptos relacionados que creemos importantes para clarificar el tema y, finalmente, haremos algunos comentarios que podrían ser aportes de interés para la educación en ciencias biológicas.

La ciencia de los científicos (de ayer y de hoy)

Un tema recurrente a la hora de analizar la construcción del conocimiento científico, ha sido el intento de caracterizar los modos de pensamiento y de acción de quienes se han destacado en sus respectivos campos. Sin que esto se relacione con el cultivo de lo que Elena (1989) cita como “*la ciencia heroica*” -estudio exclusivo de sus grandes hacedores a la vez que se relega a un segundo plano a los demás miembros de sus respectivas comunidades- éste ha sido y seguirá siendo un tópico de indudable interés para los educadores en ciencias.

Desde la caracterización del «estilo newtoniano» como una forma de hacer ciencia en la que se combinaron de manera fructífera enfoques diferentes, este autor resalta la capacidad de Newton para convertir problemas físicos en problemas matemáticos y utilizar los resultados en la investigación empírica. Este enfoque resultó notablemente eficaz, permitiéndole a este “*artífice de la mentalidad de toda una época*” (op.cit.:165), la elaboración de un “sistema del mundo” satisfactorio y considerado *verdadero*. Wertheimer (1945), en sus estudios sobre el pensamiento de Einstein, concluyó que el modo en que éste reestructuró los problemas que intentaba resolver fue crítico para sus hallazgos.

En el campo biológico, Weisberg (1993) ha realizado un interesante análisis del camino que recorrieron Watson y Crick y que los llevó a dilucidar la estructura de la molécula de ADN.

Un aporte particularmente atractivo es el de Nersessian (1992), quien a partir de un extenso análisis de las notas de Faraday ha afirmado que la clave para comprender los trabajos de este científico está en su uso de modelos mentales. La autora atribuye la hipótesis inicial de la modelización mental como una forma signifi-

cativa de razonamiento derivada de la propuesta de Kennet Craik (1943), a la vez que señala que no existe una única perspectiva acerca de los modelos mentales. No obstante, podemos coincidir con Nersessian (1999) en que para aceptar que existe un razonamiento basado en modelos que se relaciona con el cambio conceptual en ciencia, basta con adoptar una

“versión minimalista de una hipótesis de modelización mental: que en ciertas tareas de resolución de problemas los humanos razonamos construyendo un modelo interno de las situaciones, eventos y procesos que en casos dinámicos proporcionan las bases para el razonamiento simulativo [...] información en varios formatos, incluyendo lingüístico, formulaico, visual, auditivo, kinestésico, puede ser usado en su construcción” (pág. 12).

Pese al indudable interés que presentan los aportes de autores que han intentado desentrañar los modos de pensar y de actuar de grandes científicos del pasado, una mirada a los científicos actualmente en actividad puede ser muy sugerente.

Ese ha sido el enfoque de Dunbar (1995, 1997, 1999, 2000), quien ha dedicado su esfuerzo a estudiar a biólogos e inmunólogos en laboratorios de primera línea de diferentes países.

Tomando como unidad de análisis las reuniones de rutina que se llevaban a cabo en los laboratorios, este autor identificó patrones en los modos de proceder de los científicos: la construcción de modelos a partir de la utilización frecuente de analogías, de series de resultados inesperados (¡y éstos representaron entre el 40% y el 60% de todos los resultados!), ajustes metodológicos “sobre la marcha” en el diseño de experimentos, y numerosos casos de lo que denomina “razonamiento distribuido”. Los científicos mostraron así un amplio repertorio de estrategias, algunas que los condu-

ieron a nuevos hallazgos y otras que no. Sin embargo, no sólo se trataba de estrategias: la composición del grupo de científicos también pareció tener que ver con los resultados obtenidos.

Algunos de los hallazgos que figuran en estos trabajos merecen ser comentados: por ejemplo, los científicos que alcanzaron los resultados que buscaban y los que no lo lograron, persiguieron diferentes metas. En particular, los primeros se fijaron la meta de explicar los resultados que no se ajustaban a sus predicciones, tratando de formular hipótesis *desde* los resultados experimentales, más que intentar poner a prueba sus hipótesis previas. Aquellos que fallaron en alcanzar sus resultados se fijaron la meta de encontrar evidencia consistente con su conocimiento actual y distorsionaron la interpretación de los resultados para que encajaran con sus hipótesis previas. Este “sesgo de confirmación” parecía ser el resultado de fijarse la meta de obtener un resultado particular, más que de falta de habilidad para pensar en hipótesis alternativas.

¿Qué hacían los científicos con los resultados inesperados? Si eran aislados, podían ignorarlos o atribuirles origen desconocido. Si eran *series* de este tipo de resultados, les prestaban siempre atención: o bien decidían replicar el experimento, o bien realizaban análisis más detallados, constituyéndolos en el principal foco de la construcción de modelos y de su razonamiento causal. La construcción de un modelo causal podía involucrar inducciones, deducciones, analogías y la adición de otros mecanismos subyacentes.

Con respecto a la utilización de analogías, los científicos las utilizaban tanto para la formulación de hipótesis, como para el diseño y/o ajuste de experimentos, o para la explicación de resultados. El tipo de analogía estaba directamente relacionado con la meta del científico: cuando se trataba de diseñar o ajustar un experimento, la analogía podía denominarse “local”; estaba hecha desde un experi-

mento muy semejante o desde el mismo organismo que se estaba estudiando. Cuando la meta era formular hipótesis, los científicos tendieron a hacer analogías con otros organismos que habían sido investigados. Cuando la meta era explicar un concepto a otros miembros del laboratorio o a una audiencia más general, las analogías fueron hechas desde dominios muy distantes.

Un dato interesante: el uso de analogías que hicieron los científicos tendió a correlacionarse positivamente con su experiencia.

Finalmente, Dunbar (2000) registró numerosos casos en los que, como se dijo, ocurrió “razonamiento distribuido”, al que definió como “...cualquier instancia de razonamiento donde más de una persona está involucrada” (pág. 55). Dado que encontró que más del 50% del razonamiento que tenía lugar en las reuniones que analizó era de este tipo, puede concluirse que éste es un importante componente de la ciencia contemporánea, permitiendo a los científicos generar diferentes representaciones de un problema. Este tipo de estrategia fue observada tanto cuando los científicos discutían teorías, como métodos o resultados.

Sin embargo, el razonamiento distribuido no siempre resultó beneficioso. Los estudios realizados permitieron identificar dos situaciones en las que no resultó efectivo. El primero fue cuando todos los miembros del laboratorio tenían formaciones muy similares; aquí, la resolución de problemas por parte del grupo no fue mejor que la solución que podía lograr un individuo solo; el segundo se observó cuando los miembros del grupo eran muy diversos y tenían metas diferentes y competitivas.

Modelos y modelización en la enseñanza de las Ciencias Biológicas

Lo dicho hasta aquí deja en claro la importancia del rol que juegan los modelos y las analogías en la construcción del conocimiento científico. Dicha importancia ha sido enfatizada por distintos autores (Black, 1962; Hesse, 1966; Glynn et. al., 1991; Nersessian, 1992; Ogborn y Martins, 1996; Gentner y Jeziorsky, 1993; Gentner y Wolff, 2000; Markman y Gentner, 2001; entre muchos otros), tanto para la formulación y puesta a prueba de hipótesis como para la descripción de fenómenos. Gilbert (2000), lo ha expresado con las siguientes palabras: “*los modelos no juegan simplemente un papel importante en ciencia -ellos son, de hecho, el corazón de la empresa científica*” (pág. 1). Tal es así, que la propia ciencia ha sido definida como un proceso de construcción de modelos conceptuales predictivos (Gilbert, 1991).

Sin embargo, y a pesar del reconocimiento de la importancia de los modelos en la educación científica, aun no se dispone de una teoría bien estructurada de la enseñanza y del aprendizaje basados en modelos (Gobert y Buckey, 2000).

La causa de esto puede ser atribuida, al menos en parte, a la falta de claridad que ha involucrado hasta la actualidad a algunos de los conceptos clave de esta teoría en gestación; el primero y fundamental de todos ellos es el propio término *modelo*.

Ingham y Gilbert (1991) definieron un modelo como una representación simplificada de un sistema, el cual centra la atención en un aspecto específico del mismo. El modelo permite o facilita la visualización de algunos aspectos del sistema, tales como objetos, eventos, ideas de diferente nivel de complejidad, ideas que estén en

una escala diferente de la que es normalmente percibida, abstracciones, a la vez que omiten otros. Eventualmente, como señalan Brown y Clement (1989), agregan complejidad, estructura y un nivel de explicación que no es inherente en sí mismo al fenómeno que es descrito.

Es posible reconocer diferentes *tipos de modelos*, sin pretender agotar todos los que se encuentran en la literatura:

- Ž *Modelos mentales*: son los que nos permiten a los seres humanos -como a otros animales- conocer, controlar y hacer predicciones acerca de eventos del mundo. A estos ya nos hemos referido anteriormente
- Ž *Modelos expresados*: son representaciones externas de un concepto o situación blanco generadas desde un modelo mental y expresadas a través de una acción, discurso oral o escrito u otros modos de representación
- Ž *Modelos consensuados*: son modelos expresados que han sido desarrollados, testados y acordados entre los miembros de una determinada comunidad (por ejemplo, de científicos o de aprendices). Los *modelos científicos* son así un subtipo dentro de esta categoría
- Ž *Modelos de enseñanza*: son los desarrollados y utilizados por los profesores y diseñadores de *curriculum* para promover la comprensión de un sistema blanco determinado. Krapas y otros (1997) los denominan *modelos pedagógicos*, señalando que en un sentido amplio incluyen los procesos de transposición didáctica, es decir, los procesos de transformación del conocimiento científico en conocimiento escolar

A los tipos de modelos ya mencionados, Justi y Gilbert (1999) agregan el concepto de *modelo histórico*: aquel que surge

de un modelo consensuado desarrollado en un contexto específico (sistema de creencias filosóficas, científicas, tecnológicas y sociales); según estos autores, entonces, un modelo histórico es aquel que ha tenido un estatus consensuado en algún período en el pasado.

Krapas y otros (1997) incluyen en su trabajo a lo que denominan *meta-modelo*: un modelo “*formalizado rigurosamente, compartido por grupos sociales, y construido con el propósito de comprender/explicar el proceso de construcción y funcionamiento de modelos consensuados o de modelos mentales*” (pág. 10). Por otra parte, agregan como categoría de análisis la *modelización* (modelagem) *como objetivo educacional*: aquella que enfatiza la promoción de la competencia para construir modelos como propósito central de la enseñanza de las ciencias.

Teniendo en cuenta estas distinciones, un *aprendizaje basado en modelos* tendrá como base la construcción por parte de quien aprende de modelos mentales de ciertos fenómenos, en respuesta a una tarea específica, modelos éstos que deberán ser evaluados y revisados (Gobert y Buckley, 2000). Dado que no es posible acceder a la naturaleza y al contenido de los modelos mentales (propios o ajenos), como investigadores sólo podremos hacer inferencias acerca de dichos modelos a partir de los tipos de razonamientos que los aprendices son capaces de hacer con el conocimiento que poseen, plasmados en algún tipo de acción, es decir, de sus modelos expresados.

Siguiendo a las autoras mencionadas en último término, la *formación de un modelo* sobre algún fenómeno implica una construcción por integración de información acerca de su estructura, su función o su comportamiento y sus mecanismos causales, mapeados desde sistemas análogos o a través de inducción. La utilización y la

evaluación del modelo puede conducir al aprendiz a rechazarlo y comenzar nuevamente el proceso o puede desencadenar su revisión o re-elaboración.

La *revisión de un modelo* implica la modificación de partes del mismo en función de que pueda describir o explicar mejor una situación dada.

La *elaboración de modelos* puede involucrar la modificación de modelos existentes, como combinaciones o agregados, o procesos tales como la inserción en un sistema mayor.

Finalmente, la *enseñanza basada en modelos* es aquella que, intentando facilitar la construcción de modelos mentales individuales o grupales sobre determinados fenómenos, implique la utilización de fuentes de información, actividades de aprendizaje y estrategias didácticas particulares.

El desarrollo de modelos a través de la enseñanza

A pesar de la importancia otorgada a la construcción de modelos en la educación científica, diversas investigaciones arrojan como resultado que ésta es una competencia difícil de promover. Por ejemplo, Clement (2000) ha señalado algunas dificultades para el desarrollo de modelos a través de la enseñanza:

- a) la existencia de modelos explicativos ocultos, los cuales no pueden ser directamente observados
- b) los hábitos de los estudiantes, quienes pueden estar acostumbrados a aprender en un nivel más superficial
- c) posibles conflictos entre los nuevos modelos presentados y los modelos intuitivos preexistentes en los estudiantes, requiriendo

que tenga lugar un cambio conceptual o una reorganización

- d) el surgimiento de obstáculos verbales, asociados con el vocabulario especializado para describir los modelos, que puede entrar en conflicto con el significado de los términos en el lenguaje natural.

Este autor propone un marco para pensar acerca de las aproximaciones actuales a la construcción de modelos en las clases, que puede ser sintetizado en varios momentos o fases:

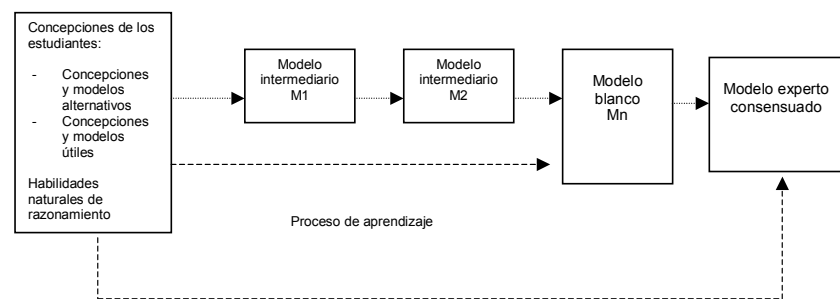


Figura 1

El mayor valor de esta aproximación, a nuestro juicio, reside en que nos recuerda a los docentes que el punto de partida para la enseñanza de cualquier contenido siempre son las concepciones y modelos iniciales que los estudiantes ya poseen, y que puede ser necesario que éstos transiten por modelos intermediarios, antes de alcanzar el modelo-blanco deseado. Esta idea resulta consistente con las posturas constructivistas que enfatizan que el aprendizaje no es una cuestión de “todo o nada”, sino de diferentes grados y niveles.

Modelos, explicaciones y modos de representación

Los modelos consensuados son importantes productos de la ciencia que juegan un papel principal en proporcionar explicaciones (Gilbert, Boulter y Rutherford, 2000). Estos modelos pueden expresarse utilizando uno o más de cinco *modos* principales de *representación*:

1. El *modo concreto*: consiste en el uso de materiales (por ejemplo, un modelo de moléculas utilizando bolas y bastones, una maqueta de yeso de un estadio embrionario)
 2. El *modo verbal*: consiste en la utilización de analogías y metáforas en el discurso hablado o escrito (por ejemplo, el uso de la expresión “ARN mensajero” por parte de un profesor en clase, o presentada en un libro de texto, o la afirmación de que la molécula de ADN *es como* una escalera de caracol)
 3. El *modo matemático*: consiste en expresiones matemáticas, como fórmulas y ecuaciones (por ejemplo, la expresión matemática del equilibrio de Hardy y Weimberg)
 4. El *modo visual*: hace uso de formas pictóricas o gráficas (como en la representación gráfica del ciclo de Krebs o un dibujo estilizado de un ribosoma)
 5. El *modo gestual*: consiste en acciones (por ejemplo, gestos con las manos para apoyar una descripción de la forma esférica de una célula).
- La expresión *modo simbólico* abarca los modos visual, verbal y matemático.

Cada modo de representación resulta particularmente útil para un tipo de explicación. Así, los modelos representados en el

modo concreto favorecen las *explicaciones descriptivas*; las *explicaciones predictivas* serán mejor apoyadas por los *modos simbólico y gestual* de representación. Los diagramas, al presentar gran versatilidad, son particularmente aptos para facilitar *explicaciones interpretativas y causales*.

Dificultades específicas en la comprensión de los fenómenos biológicos

Más allá de las dificultades propias del desarrollo por parte de los alumnos de los modelos deseados a partir de la enseñanza recibida, es necesario reconocer algunas cuestiones que se relacionan directamente con el aprendizaje de los conceptos o fenómenos biológicos. Entre ellas podemos mencionar:

- Los objetos biológicos son sistemas complejos, interactivos, con un amplio rango de escalas, que abarcan desde estructuras visibles a ojo desnudo, hasta otras que se encuentran muy por debajo de la capacidad de observación humana
- Los fenómenos que ocurren a nivel macroscópico se encuentran generalmente determinados por otros fenómenos que se verifican en un nivel de organización inferior. Por ejemplo, los tejidos y estructuras celulares que permiten el funcionamiento de un sistema, son demasiado pequeñas para ser observadas sin herramientas visuales (Buckley, 2000)
- Para su comprensión son tan relevantes el análisis como la síntesis, dado que el conocimiento de las partes es imprescindible para entender el todo, que a su vez retroactúa sobre ellas (Morin, 1995)
- Las Ciencias Biológicas utilizan conceptos generados en otras

disciplinas

- Algunos de sus temas más actuales incorporan aspectos relacionados con lo ideológico -por ejemplo, el estudio de las biotecnologías que implican manipulación genética- (Gallarreta, Felipe y Merino, 2002).

Como ha señalado Clement (2000), en los sistemas biológicos los fines son usualmente medios para otros fines. De la misma manera, los modelos que construyan los alumnos sobre los temas biológicos que se les enseñen serán, por un lado, reflejo de su comprensión actual sobre dichos temas y, por otro, un medio para facilitar la comprensión de un nuevo material.

Algunos aportes para la enseñanza de las Ciencias Biológicas

A partir de este marco, podemos pensar en algunas cuestiones que pueden resultarnos útiles a la hora de tomar decisiones con respecto al trabajo en el aula y que se relacionan con la enseñanza basada en modelos. Debe quedar claro que, pese a ser presentadas como distintos “puntos”, carecen de pretensiones prescriptivas: son ideas, apoyadas por la investigación educativa, que se ofrecen para su consideración y que pueden esbozarse como elementos de una estrategia general:

- Si se pretende que la ciencia que se enseña sea “auténtica” (Roth, 1995), es importante tener en cuenta las estrategias que utilizan los científicos en actividad. Así, parece adecuado enseñar a los alumnos a enfrentar resultados inesperados y a proponer hipótesis a partir de ellos, tanto como a utilizar el razonamiento analógico. El profesor debería crear situa-

ciones en las que los estudiantes puedan razonar en forma distribuida y cooperativa y enseñarles a tomar en consideración sus propias metas, evitando tanto el “sesgo de confirmación”, como los objetivos individualistas y competitivos dentro de un grupo de pares

- Identificar y caracterizar los modelos iniciales de los estudiantes. Dentro de dichos modelos, reconocer tanto los conceptos clave que pueden cumplir el rol de *anclas* (Clement, 1993), como las concepciones alternativas a las científicas que el alumno ya posea y que puedan obstaculizar el proceso de aprendizaje
- Definir el modelo-blanco, decidiendo los niveles de complejidad, detalle, etc., que se constituirá en el modelo que debe ser aprendido por los estudiantes
- De acuerdo a las diferencias entre los modelos iniciales de los alumnos y el modelo-blanco definido, ponderar la necesidad de incluir en la enseñanza uno o más modelos intermedios
- Durante todo el proceso de enseñanza, brindar a los alumnos la posibilidad de expresar, utilizar, revisar o elaborar sus modelos mentales, construidos en respuesta a las actividades propuestas
- Chequear la coherencia de los modelos expresados por los alumnos con el modelo pedagógico utilizado y con el modelo científico que este último tiene como referencia
- Elegir el mejor modo de representación del modelo de acuerdo al tipo de explicación de que se trate
- Utilizar modelos pedagógicos en una variedad de modos de representación, vinculados e integrados de múltiples mane-

ras, lo cual responderá a las preferencias de los distintos estudiantes y a sus particulares estilos cognitivos.

Como cierre de lo dicho, vale destacar la importancia que reviste tomar en cuenta las cuestiones planteadas aquí para la compleja tarea de enseñar. Conceptualizar los distintos tipos de modelos, discriminarlos y reflexionar sobre su naturaleza y adecuación a diferentes propósitos, destinatarios, condiciones de utilización, etc., se vuelve una de las actividades centrales del proceso de planificación de la enseñanza en cualquiera de sus niveles.

Resumen

La importancia de los modelos y del modelado en la investigación científica ha sido ampliamente documentada. En la década pasada, también ha sido reconocido el valor de los modelos y del modelado en la educación en ciencias biológicas. Sin embargo, aun no se dispone de una teoría bien estructurada de la enseñanza y del aprendizaje basados en modelos. Entre las razones de esta carencia, figura la falta de claridad de los conceptos que deberían ser parte de dichas teorías. Con el objeto de contribuir en ese sentido, en este artículo se recuperan aportes provenientes del campo de la producción del conocimiento científico que resultan sugerentes para la ciencia escolar, se hace una delimitación de los significados de distintos conceptos relacionados con el tema y se proponen algunas ideas para la utilización de modelos en la enseñanza de las Ciencias Biológicas.

Abstract

The relevance of models and modelling to scientific research has been widely documented. The value of models and modelling to biological education has been also increasingly recognized in last decade. However, well-structured theories of model - based teaching and learning are not still available. This is partially caused by the lack of clarity in concepts that should be part of these theories. In order to contributing for it, in this paper, contributions from the production of scientific knowledge field that are interesting to school science are rescued, meanings of terms related with this topic are defined, and some ideas for models' use in biological sciences are proposed.

Palabras clave

Modelos; Modelización; Enseñanza; Biología.

Key Words

Models; Modelling; Teaching; Biology.

BIBLIOGRAFÍA

- BLACK, M. (1966) *Models and Metaphors*. Cornell University Press, New York. Versión castellana: **Modelos y Metáforas**. Tecnos, Madrid.
- BROWN, D. and CLEMENT, J. (1989) "Overcoming Misconceptions via Analogical Reasoning. Abstract Transfer versus Explanatory Model Construction" en **Instruccion Science**, 18, 237-261.
- BUCKLEY, B. (2000) "Interactive multimedia and model-based learning in biology" en **International Journal of Science Education**, 22 (9), 895 - 935.
- CLEMENT, J. (1993) "Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics" en **Journal of Research in Science Teaching**, 30, 1241-1257.
- CLEMENT, J. (2000) "Model based learning as a key research area for science education" en **International Journal of Science Education**, 22 (9), 1041 - 1053.
- DUNBAR, K. (1995) "How Scientist Really Reason: Scientific reasoning in Real World Laboratories" en **Mechanisms of Insight**, 365 - 395.
- DUNBAR, K. (1997) "How Scientist Think: On - line creativity and conceptual change in science" en Ward, T.; Smith, S. y Vaid, J. (Eds.) **Conceptual structures and processes: Emergence, discovery and change**. American Psychological Association Press, Washington D.C..
- DUNBAR, K. (1999) "How Scientist Build Models: In Vivo Science as a window on the scientific mind" en Magnani, L.;

- Nersessian, N, & Thagard, P. **Model-based reasoning in scientific discovery**. pp. 89-98. Kluwer/Plenum Press, New York.
- DUNBAR, K. (2000) "How Scientist Think in the Real World: Implications for Science Education" en **Journal of Applied Developmental Psychology**, 21 (1) 49 -58.
- ELENA, A. (1989) **A hombros de gigantes. Estudios sobre la primera revolución científica**. Alianza Editorial, Madrid.
- HESSE, M. (1966) **Models and Analogies in Science**. University of Notre Dame Press, Indiana, EE.UU..
- GALLARRETA, S.; FELIPE, A. y MERINO, G. (2002) "Modelos metafóricos y analógicos en la Enseñanza de la Biología" en **Simbiosis**, 3 (2): 6 - 15.
- GENTNER, D. and JEZIORSKY, M. (1993) "The Shift from Metaphor to Analogy in Western Science" In Ortony, A. (Ed.) **Metaphor and Thought**. pp. 447-480. Cambridge University Press, Cambridge, England.
- GENTNER, D. and WOLFF, P. (2000) "Metaphor and Knowledge Change" In Dietrich, E. and Markman, A. (Eds.) **Cognitive Dynamics: Conceptual Change in Humans and Machines**. pp. 295-342. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ.
- GILBERT, J.; BOULTER, C. y RUTHERFORD, M. (2000) "Explanations with Models in Science Education" en **Developing Models in Science Education**. Gilbert y Boulter (Eds.) pp. 193 - 208. Kluwer, Dordrecht.
- GILBERT, J.; PIETROCOLA, M.; ZYLBERSTAJN, A. y FRANCO, C. (2000) "Science and Education: Notions of Reality, Theory and Model" en **Developing Models in Science Education**. Gilbert y Boulter (Eds.) pp. 19 - 40. Kluwer, Dordrecht.
- GILBERT, S. (1991) "Model Building and a Definition of Science" en **Journal of Research in Science Teaching** vol. 28 n° 1 pp 73-79 - 1991.

- GIORDAN, A. (1985) **La enseñanza de las Ciencias**. Siglo XXI, Madrid.
- GLYNN, S. (1991) “*Explaining Science Concepts: a Teaching - with - Analogies Model*” In Glynn, S., Yeany, R. y Britton, B. (Eds.) **The Psychology of Learning Science**. pp. 219-240. Lawrence Erlbaum Associates, London, England.
- GOBERT, J. y BUCKLEY, B. (2000) “*Introduction to model-based teaching and learning in science education*” en **International Journal of Science Education**, 22, (9), 891-894.
- INGHAM, A. y GILBERT, J. (1991) “*The use of analogical models by students of chemistry at higher education level*” en **International Journal of Science Education**, 13, (2): 193-202.
- JUSTI, R. y GILBERT, J. (1999) “*A Cause of Ahistorical Science Teaching: Use of Hybrid Models*” en **Science Education** 83 (2):163-177.
- KRAPAS, S.; QUEIROZ, G.; COLINVAUX, D. y CRESO, F. (1997) “*Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências*” en **Investigações em Ensino de Ciências**, 1, (2), dezembro.
- MARKMAN, A. B. and GENTNER, D. (2001) “*Thinking*” en **Annual Review of Psychology**, 52. 223-247.
- MATTHEWS, M. (1994) **Science Teaching: The Role of the History and Philosophy of Science**. Routledge, New York.
- MATTHEWS, M. (1998) **Constructivism in Science Education**. Kluwer, Dordrecht.
- MORIN, E. (1995) **Introducción al pensamiento complejo**. Gedisa, Barcelona.
- NERSESSIAN, N. (1992) “*How do the scientist think? Capturing the dynamics of conceptual change in science*” en Giere, R. (Ed.) **Minnesota Studies in the Philosophy of Science**. Vol. XV: Cognitive Models in Science. University of Minnesota Press,

- Minneapolis.
- NERSESSIAN, N. (1999) “*Model-Based Reasoning in Conceptual Change*” en Magnani, L., Nersessian, N. y Thagard, P. (Eds.) **Model-Based reasoning in Scientific Discovery**, pp. 5 - 22. Kluwer/Plenum Press, New York.
- OSBORNE, J. (1996) “*Beyond Constructivism*” en **Science Education**, 80 (1): 53-82.
- OGBORN, J. and MARTINS, I. (1996) “*Metaphorical Understandings and Scientific Ideas*” en **International Journal of Science Education**, 18 (6) 631-652.
- WEISBERG, R. (1993) **Creativity: Beyond the myth of genius**. Freeman, New York.
- WERHEIMER, M. (1945) **Productive Thinking**. NY Harper, New York.