

LA MEDIACIÓN ANALÓGICA EN LA CIENCIA ESCOLAR. PROPUESTA DE LA ‘FUNCIÓN MODELO TEÓRICO’

ADÚRIZ-BRAVO^{1,2}, AGUSTÍN; GÓMEZ², ADRIANNA; MÀRQUEZ², CONXITA y SANMARTÍ², NEUS

¹ Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales, Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires; CEFIEC, Pabellón 2, Ciudad Universitaria, (C1428EHA) Buenos Aires, Argentina; <adurizbravo@yahoo.com.ar>

² Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, España.

Palabras clave: Analogías; Mediación; Ciencia escolar; Modelo teórico; Representación.

OBJETIVOS

El objeto de este trabajo es profundizar en las implicaciones del *modelo cognitivo de ciencia escolar* (Izquierdo et al., 1999) para la enseñanza de las ciencias en los diferentes niveles educativos. En particular, queremos presentar y ejemplificar la siguiente *hipótesis de trabajo*: que una parte del papel que los modelos teóricos tienen en la ciencia erudita puede ser asumida, en la ciencia escolar, por diversos *mediadores* de naturaleza analógica (Adúriz-Bravo, 2001). Los modelos mediadores serían, por tanto, centrales en el proceso de *modelización* en la escuela (Izquierdo, 2004).

Primeramente fundamentamos nuestra hipótesis mediante algunos elementos teóricos y luego mostramos su aplicación en tres investigaciones recientes hechas sobre sendas unidades didácticas puestas en marcha en primaria, secundaria y universidad.

MARCO TEÓRICO

Nuestra contribución se inscribe en el modelo cognitivo de ciencia escolar (Izquierdo et al., 1999; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003), propuesta teórica reciente de la didáctica de las ciencias inspirada en el modelo cognitivo de ciencia, en particular, en la versión debida a Ronald Giere (1988). Esta propuesta considera el *modelo teórico* como la unidad fundamental de la ciencia de los científicos y de la ciencia en la escuela.

Nos situamos también en la línea de investigación e innovación que estudia el papel de la *analogía* en la enseñanza de las ciencias (Oliva, 2004). En forma genérica, vemos la analogía como una ‘mediación’ entre dos campos semánticos, uno conocido y otro novedoso, con el fin de dar sentido al último a partir de los significados asociados al primero.

Definimos como ‘mediador’ aquel modelo analógico del *modelo científico escolar* que funciona como heurístico para ayudar, en las clases de ciencias, a pensar, decir y hacer sobre el mundo de fenómenos sobre el cual se está trabajando (Adúriz-Bravo, 2001; Gómez et al., 2004). Para su utilización en el aula, el mediador, que es un modelo teórico de segundo orden (modelo *sobre* un modelo), es luego *representado*.

Entendemos por ‘representación’ la expresión concreta de un modelo en algún registro semiótico determinado (lenguaje natural, imagen, maqueta...). Esta expresión es creada con un propósito particular, ya sea *comunicativo*, para negociar significados, *cognitivo*, para razonar, u *operatorio*, para resolver problemas (Buckley, 2000). Las representaciones son externas, es decir, ‘observables’ en sentido amplio (tienen soporte simbólico).

Sobre la base de estos primeros acuerdos, queremos ampliar el significado estricto del concepto de ‘modelo científico escolar’ (entendido como transposición del modelo científico erudito), para abarcar también estas estrategias de base analógica (los mediadores). Nuestra conceptualización está apoyada en la idea de Mercè Izquierdo (2004) de que algunos *hechos paradigmáticos*, teóricamente reconstruidos, pueden funcionar como protomodelos teóricos en el aula de ciencias, *mediando* en la construcción de los significados a aprender.

A nuestro entender, los mediadores poseerían algunas características que los vuelven interesantes para la enseñanza de las ciencias:

1. *Abstracción*. Tal como los propios modelos teóricos de primer orden, de los cuales son análogos, los mediadores son entidades abstractas, no lingüísticas, y admiten múltiples representaciones.
2. *Potencia semiótica*. Los mediadores pueden representarse (*definirse* en el sentido de Giere, 1988) de diversas maneras, por medio del lenguaje natural o de sistemas de símbolos heterogéneos y flexibles.
3. *Potencia analógica*. Los mediadores conectan por medio de un mecanismo analógico con los hechos del mundo y con los modelos teóricos, sirviendo de puente entre unos y otros a través de lo que Giere (1988) llama ‘parecidos de familia’ (relación de *semejanza*) durante el proceso de modelización.
4. *Potencia paradigmática*. Los mediadores dan significado a muchos hechos del mundo enlazándolos y abstrayéndolos, a fin de que se pueda intervenir activamente sobre ellos con el pensamiento, la acción y el discurso en forma coordinada. Esos hechos, reconstruidos a través de la mediación, se transforman en hechos *paradigmáticos* (Izquierdo, 2004) o epitómicos, genuinos ‘modelos’ del mundo sensible.

DESARROLLO

Decimos que los mediadores son sistemas simbólicos abstractos que sirven a modo de ‘mapas’ para entender la realidad. Los mediadores son transformados en representaciones mediante el uso de diversos registros semióticos coordinados (habla, escritura, dibujo, fórmula, gráfica, movimiento, ecuación, símbolo, maqueta...). Los mediadores funcionan como analogías de los modelos (modelos de segundo orden) y tienen una manifiesta intención didáctica.

Nuestra hipótesis de trabajo es que los mediadores pueden *operar en función modelo teórico*, es decir, funcionar hasta cierto punto como modelos teóricos iniciales para representar(se) el mundo natural en las clases de ciencias. Con ello queremos significar que los mediadores satisfacen, de forma restringida y dentro del contexto de la ciencia escolar, la función de ‘dar sentido’ que Giere (1988) atribuye a los modelos teóricos en la ciencia erudita.

Ejemplificaremos estas ideas a través de tres trabajos de investigación recientes del Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals (Adúriz-Bravo, 2002; Màrquez, 2002; Gómez, 2005). En esos trabajos se utilizaron en situación de enseñanza mediadores de muy distinta naturaleza, pero con el mismo objetivo de hacer *racional y razonable* el modelo teórico a aprender (Izquierdo, 2004).

Las tres intervenciones didácticas que se describen a continuación fueron hechas en secundaria, primaria y universidad respectivamente.

El ciclo del agua

En este primer trabajo (Màrquez, 2002; Màrquez et al., 2003), se utiliza una *representación concreta* (Adúriz-Bravo, 2001) del modelo científico escolar a enseñar, que son las transformaciones del agua en la

naturaleza. La representación es un diagrama tradicionalmente conocido en los libros de texto como ‘ciclo del agua’.

La profesora, que tiene como referencia un modelo de funcionamiento global (el correspondiente *modelo teórico escolar*), utiliza un diagrama inicialmente vacío (figura 1) como representación de un posible *modelo mediador* entre el hecho del mundo (la circulación del agua en la naturaleza) y el hecho científico (el ciclo del agua).



FIGURA 1

Diagrama usado por la profesora de secundaria como representación visual del modelo mediador ‘ciclo del agua’.

A través del diagrama, los estudiantes de secundaria piensan, dicen y hacen cosas sobre su conocimiento experiencial de la circulación del agua en la naturaleza; de esta manera se apropian de los hechos del mundo que quieren llegar a interpretar. El escenario representado permite que los estudiantes identifiquen *aquello que ven, saben o piensan*: las nubes, la nieve, las fuentes, y sus funciones y relaciones.

Cada estudiante interviene en su diagrama a partir de sus conocimientos y de la información aportada por la profesora y los compañeros, y va reconociendo nuevas entidades (los *almacenes de agua*), nuevas relaciones entre ellos (los *flujos*) y unos mecanismos particulares de funcionamiento. En este proceso es de importancia el uso de las flechas como medio para comunicar significados abstractos asociados al ciclo.

El diagrama cambia a través de la intervención de los estudiantes, y muestra finalmente la *reconstrucción teórica* de una serie de fenómenos que se dan en la naturaleza (precipitación, condensación, infiltración, circulación superficial y subterránea, evapotranspiración...), sometidos a restricciones y regularidades. Es decir, el diagrama pasa de mostrar aquello *que se ve* (el hecho o fenómeno) a mostrar aquello *que se sabe* sobre el mundo (el *hecho científico*, reconstruido desde el modelo).

Consideramos que el diagrama deja de ser sólo un mediador y pasa a ser un auténtico hecho científico cuando el estudiante: a) reconoce nuevas entidades, b) identifica nuevas relaciones entre ellas, configurando un *sistema* sometido a restricciones y regularidades, y c) articula mediante este aparato teórico explicaciones racionales y razonables de nuevos fenómenos vinculados. En este momento, el mediador asume su función de modelo teórico, pues permite pensar en una diversidad de ámbitos evidenciando semejanzas entre ellos.

Asimismo, consideramos que la construcción del diagrama, en contraposición a utilizar uno ya elaborado, es beneficiosa para los estudiantes en su proceso de *modelización*, ya que además de favorecer los aspectos comentados, permite reflexionar en torno de los sistemas de símbolos que se pueden utilizar para representar los modelos, y además sitúa a quien aprende en una actividad de construcción de lenguajes abstractos para comunicar significados teóricos.

El incendio forestal

En este segundo trabajo (Gómez et al., 2004; Gómez, 2005), otra representación concreta de un mediador, en forma de maqueta tridimensional, se diseña para pensar sobre los seres vivos durante y después de una perturbación ambiental: un incendio forestal. La perturbación se interpreta utilizando las ideas del modelo científico escolar de *ser vivo*, empleando las funciones de nutrición, reproducción y relación.

En esta experiencia, los estudiantes de primaria construyen prototipos de plantas y animales característi-

cos del encinar mediterráneo, que colocan en una base donde inicialmente solo se representa el suelo de aquel. A continuación, se simula un incendio forestal y la posterior recuperación del bosque. Los estudiantes *intervienen* sobre la maqueta en congruencia con sus argumentaciones, en las que consideran algunas de las ideas del modelo teórico escolar.

La maqueta como representación mediadora permite a los estudiantes establecer relaciones entre las experiencias anteriores y las nuevas que se presentan durante la manipulación iluminada por las ideas del modelo teórico. Al analizar el discurso de los estudiantes y las profesoras durante las simulaciones sobre la maqueta, encontramos que esta *mediaba* en tres dimensiones (Gómez, 2005):

- a) Entre las ideas de partida de los estudiantes y un fenómeno de difícil interpretación. La maqueta ayudaba a generar una representación significativa de un fenómeno complejo que transcurre en diferentes escalas espaciales y temporales. Usando esta representación, los escolares eran capaces de identificar fenómenos a explicar e iban incorporando las ideas abstractas del modelo de ser vivo para interpretar esos fenómenos y transformarlos en hechos paradigmáticos.
- b) Entre los modelos de partida de los estudiantes y el modelo de las profesoras (el modelo científico escolar que se pretende los estudiantes construyan). La actividad alrededor de la maqueta generaba espacios de conversación donde las profesoras ejercían una regulación de las ideas elaboradas por los estudiantes y apoyaban la construcción del modelo de ser vivo.
- c) Entre los diferentes niveles de apropiación del modelo teórico por parte de los estudiantes. La maqueta permitía mantener un punto al cual volver tras la construcción de cada nuevo significado; por tanto, había diversos momentos para que los estudiantes se incorporaran a la argumentación. También permitía que ellos escucharan a sus compañeros, explicaran y actuaran en forma colectiva tanto en la construcción como en la transformación de la representación del mediador.

Al igual que con el ciclo del agua, la maqueta se transforma al incorporar las ideas del modelo teórico, pasando de representar lo que los escolares extraen de su experiencia en el mundo a lo que piensan que sucederá con los seres vivos durante y después de un incendio, considerando las ideas del modelo. El incendio como fenómeno del mundo se interpreta usando inicialmente la maqueta como mediación y llega finalmente a ser un hecho científico cuando los estudiantes utilizan las entidades generadas y sus relaciones para interpretar lo que sucede con los seres vivos en otros incendios e inclusive en otro tipo de perturbaciones ambientales.

El pensamiento abductivo

En este tercer trabajo (Adúriz-Bravo, 2001, 2002), una historia detectivesca, plasmada en forma de libro y de film a modo de sus representaciones textuales, funciona como mediador para aprender sobre la naturaleza de la investigación científica. Se utiliza la trama de la conocida novela *Muerte en el Nilo* de Agatha Christie.

Las dos representaciones artísticas usadas, de carácter *multisemiótico*, median como análogos de un proceso de indagación de naturaleza abductiva. Los estudiantes universitarios transforman la narración en hecho paradigmático al abstraer su superestructura argumentativa; esta les permite encontrar 'parecidos de familia' (Giere, 1988) entre muy diversos episodios de creación científica, tales como el descubrimiento del radio o la invención de los marcadores radiactivos.

CONCLUSIONES

Arriesgamos la afirmación de que la idea de *función modelo teórico* quizás sirva para entender algunas innovaciones de la didáctica de las ciencias que diversos autores señalan como prometedoras (Adúriz-Bravo, 2001). Al parecer, muchas veces la representación de un modelo analógico funciona a modo de 'cimientos' para la construcción de un modelo teórico en el aula de ciencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÚRIZ-BRAVO, A. (2001). *Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias*. Tesis doctoral. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona. En línea: <http://www.tdx.cesca.es/TDX-1209102-142933>
- ADÚRIZ-BRAVO, A. (2002). Aprender sobre el pensamiento científico en el aula de ciencias: una propuesta para usar novelas policíacas. *Alambique*, Vol. 31, pp. 105-111.
- BUCKLEY, B.C. (2000). Interactive multimedia and model-based learning in biology. *International Journal of Science Education*, Vol. 22 (9), pp. 895-935.
- GIERE, R. (1988). *Explaining science. A cognitive approach*. Chicago: Chicago University Press.
- GÓMEZ, A. (2005). *Construcción del modelo ser vivo en la escuela primaria: una visión escalar*. Tesis doctoral inédita. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- GÓMEZ, A., SANMARTÍ, N. y PUJOL, R.M. (2004) Production of explanations in primary schools when interpreting environmental disturbances. *Fifth Conference of European Research in Didaktik of Biology*. Patras, Grecia, 21-25 de septiembre.
- IZQUIERDO, M. (2004). Ensenyar ciències per conèixer la naturalesa del coneixement científic. *Revista del Col·legi Oficial de Doctors i Llicenciats en Filosofia i Lletres i en Ciències de Catalunya*, Vol. 122.
- IZQUIERDO, M. y ADÚRIZ-BRAVO, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, Vol. 12 (1), pp. 27-43.
- IZQUIERDO, M., ESPINET, M., GARCÍA, M.P., PUJOL, R.M. y SANMARTÍ, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, pp. 79-91.
- MÀRQUEZ, C. (2002). *La comunicació multimodal en l'ensenyament del cicle de l'aigua*. Tesis doctoral. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona. En línea: <http://www.tdx.cesca.es/TDX-1107102-121235>
- MÀRQUEZ, C., IZQUIERDO, M. y ESPINET, M. (2003). Comunicación multimodal en las clases de ciencias: el ciclo del agua. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 21 (3), pp. 371-386.
- OLIVA, J.M. (2004). El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 3 (3), artículo 7. En línea: <http://www.saum.uvigo.es/reec>.