

Hacia una didáctica de las ciencias experimentales basada en modelos

Agustín Ad rız-Bravo

GEHyD-Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales

CeFIEC-Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires

Introducción

En este trabajo parto de la base de considerar que la didáctica de las ciencias experimentales ha alcanzado madurez suficiente (cf. Ad rız-Bravo, 1999/2000; Ad rız-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2001, 2002) como para que la comunidad de investigadores e investigadoras podamos discutir cuál concepción metate rica de *modelo científico* es más fructífera para la consecución de los objetivos perseguidos por nuestra disciplina (cf. Gutiérrez 2005; Ad rız-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009).

Propongo que una aproximación *modelote rica* –una que tome el constructo de ‘modelo teórico’ de la filosofía de la ciencia semántica de las últimas tres décadas (cf. Giere, 1992; Diez y Moulines, 1999; Suppe, 2000)– satisface el requerimiento antedicho. También asumo que hay un creciente movimiento –parcialmente no explicitado– hacia esa concepción de modelo en muchos/as didactas de las ciencias; para mostrarlo, recorro algunas producciones recientes que ‘sintonizan’ con tal concepción. A mi juicio, es posible actualmente inferir la ‘emergencia’ de una didáctica de las ciencias *basada en modelos*.

Objetivos

Son mis objetivos en este trabajo:

1. Seleccionar y contextualizar una noción metate rica de modelo científico valiosa para la didáctica de las ciencias experimentales, extrayéndola de la filosofía de la ciencia contemporánea, en la que coexisten –en estado de mayor o menor tensión– diversas concepciones de modelo con diferente raigambre (cf. Estany, 1993; Diez y Moulines, 1999; Suppe, 2000; Erduran y Duschl, 2004; Ad rız-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009).
2. Discutir las ventajas de la noción *semántica* de modelo (en alguna de sus versiones) para conceptualizar la actual didáctica de las ciencias experimentales como disciplina, y para apoyar una intervención, innovación e investigación didácticas basadas en modelos (o modelote ricas).
3. Revisar producción didáctica reciente en la que podemos reconocer que ya está utilizando tal noción –haciendo referencia más o menos explícita a sus fuentes y su alcance– con diversas finalidades: diseñar la ciencia escolar, sustentar una determinada manera de modelizar en el aula, fomentar comprensiones acerca de la naturaleza de la ciencia, pensar sobre las analogías y metáforas, apoyar la argumentación científica, etc.

Desarrollo

Inicialmente, quiero explorar algunos desarrollos recientes y actuales de la filosofía de la ciencia en busca de pistas que iluminen la evolución conceptual que ha sufrido la idea de modelo desde el plano metateórico (es decir, desde el análisis teórico de las teorías desde un segundo orden de discurso). Esta rápida revisión histórica me dará el contexto para la selección que hago en este trabajo del ‘modelo de modelo’ que me parece más sugerente para trabajar en la didáctica de las ciencias experimentales.

El término ‘modelo’ se emplea en el lenguaje natural, en el sentido común y en la vida cotidiana con dos sentidos fuertemente contrapuestos, uno en cada ‘extremo’ de la relación de representación (cf. Moulines 1982; Mosterín, 1984):

1. en el primer caso, la palabra ‘modelo’ se entiende como *epítome* o *ejemplo paradigmático* de algo, *caso* o *instancia* representativas, *canon* a seguir, como cuando decimos que ‘la Cordelia de Shakespeare es modelo de amor filial’;
2. en el segundo caso, la palabra ‘modelo’ se entiende como *versión simplificada*, *réplica*, *diseño* o *simulación* de algo, que captura algunos elementos característicos de lo que se está ‘copiando’, como cuando decimos que ‘los ingenieros fabricaron un modelo a escala del puente’.

Esta polisemia del concepto –que se cuele en el campo de la ciencia– es un obstáculo a la hora aprehender su alcance; definir o acotar ese alcance sería una demanda conceptual aceptada en la filosofía de la ciencia (Estany, 1993) y, como intento sostener aquí, una necesidad en el estado actual de la didáctica de las ciencias experimentales.

Resumidamente, creo que podemos decir que la idea de modelo fue cambiando en la filosofía de la ciencia, entre 1920 y 1980, de la siguiente manera (cf. Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009):

1. inicialmente, el modelo constituyó un *ejemplo más de la teoría*, una mera interpretación del formalismo abstracto;
2. luego pasó a ser un *ejemplo particularmente digno de imitar* de esa teoría, que guía la actividad científica;
3. finalmente, llegó a identificarse con un *ejemplo intencionado* de la teoría, es decir, uno que ella pretende explicar desde sus inicios.

Veamos esto con un poco más de detalle: para la llamada *concepción heredada* anglosajona (desarrollada en los años 50 y 60, y heredera del positivismo lógico del célebre Círculo de Viena), las teorías empíricas son *cálculos interpretables*; en el contexto de esta escuela, el modelo es un sistema que *satisface* los axiomas de la teoría, de la cual *pasa a ser modelo* por este proceso de ‘interpretación’.

Posteriormente, al interior de la corriente conocida como *nueva filosofía de la ciencia* (que cobra gran fuerza en los años 60 y 70), Thomas Kuhn (1971) propone enfocarse en otro aspecto del modelo que para él es central para entender la actividad científica. Al precisar su noción de *paradigma*, Kuhn propone el constructo de *ejemplar*: un modelo científico ‘a imitar’ en la búsqueda de soluciones a los problemas científicos.

Por último, la emergente *concepción semántica de las teorías científicas* (iniciada tímidamente en los años 50, pero con proyección en la comunidad internacional de filósofos/as de la ciencia desde los años 80) considera los modelos como el centro de la *parte aplicativa* de una teoría, formando una *clase* caracterizada por las *leyes* científicas de esa teoría. En esta línea, los modelos son vistos como ‘proyecciones’ de la teoría al mundo, se los llama sus ‘realizaciones posibles’.

En los últimos años, estamos asistiendo a la intersección entre esta concepción semántica, la visión basada en modelos (que prácticamente se deshace de la noción de teoría para el análisis), el

enfoque *representacional* de las teorías y el llamado *giro cognitivo* de las ciencias sociales. En este espacio de trabajo, el filósofo de la ciencia estadounidense Ronald Giere (1992) da el nombre de *modelo teórico* a una entidad abstracta, no lingüística, que se comporta como lo ‘mandan’ los enunciados o proposiciones –en cualquier sistema simbólico elegido– que definen esa entidad.

Para Giere, el modelo teórico se relaciona sustantivamente con dos elementos:

1. el conjunto de recursos simbólicos que lo definen; y
2. el mundo que modeliza, con el cual mantiene una relación que él llama de *similaridad* (paralela a los llamados ‘parecidos de familia’ de Ludwig Wittgenstein [1988]).

Sin lugar a dudas, la concepción de Giere de un modelo es a la vez sencilla y potente; cualquier representación que permite pensar, hablar y actuar con rigor y profundidad sobre el sistema estudiado califica como modelo teórico: no solo los modelos altamente abstractos, sino también las maquetas, las imágenes, las tablas, las redes, las analogías... siempre que habiliten a describir, explicar, predecir e intervenir.

Es este ‘modelo de modelo’ el que me parece más fructífero en la actualidad para la didáctica de las ciencias experimentales. El marco teórico de Giere, por su singular combinación de versatilidad y rigor, nos permitiría trabajar en clase con *modelos científicos escolares* que sirvan para entender el funcionamiento del mundo natural mediante ideas abstractas y, al mismo tiempo, no se encuentren tan alejados de las concepciones alternativas que traen los niños y niñas, adolescentes y jóvenes a la escuela.

Estructurar la actividad científica escolar alrededor de modelos teóricos permitiría recrear en clase un saber disciplinar que es patrimonio de todos y todas, pero que se debería enseñar sólo en tanto que posibilite que los sujetos *den sentido* al funcionamiento del mundo natural (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003). Esta recreación, auxiliada por el profesorado de ciencias experimentales y por los libros de texto, no se plantearía entonces como un ‘redescubrimiento’ de ideas complejas que llevaron siglos de arduo trabajo a la humanidad, sino como una apropiación –profundamente constructiva– de potentísimas herramientas intelectuales que se van representando en el aula con el nivel de formalidad necesario para cada problema y cada momento del aprendizaje.

Al recuperar las aportaciones semánticas *à la* Giere me hago eco de una serie de investigadores/as en nuestra disciplina (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003; Erduran y Duschl, 2004; Joshua y Dupin, 2005; Develaki, 2007; Justi, 2006; Koponen, 2007; Sensevy et al., 2008) que señalan los diferentes valores que tendría tal metamodelo tanto para la educación científica como actividad como para la didáctica como empresa académica que estudia tal actividad con el fin de mejorarla.

En opinión de estos autores/as, las aportaciones recientes de la filosofía de la ciencia en torno a la idea de modelo, sobre todo aquellas provenientes de la concepción semántica en su versión más ‘madura’, resultan enriquecedoras a la hora de enseñar algunos modelos científicos importantes y, al mismo tiempo, de reflexionar metateóricamente sobre la naturaleza de los modelos con nuestros/as estudiantes. En este sentido, creo que todos los trabajos aquí seleccionados presentan argumentos que muestran que los ‘puntales’ del programa semántico admiten una transposición significativa a la hora de diseñar una ciencia escolar más rica.

Conclusiones y prospectiva

Parece posible afirmarse, a partir de la muestra de trabajos que discutí aquí brevemente, que el desplazamiento desde la concepción ‘enunciativa’ basada en teorías, vista como claramente insuficiente por la filosofía de la ciencia semántica, hacia una más adecuada y robusta visión basada en modelos se está dando también, aunque tímidamente y con cierto retraso, en la didáctica de las ciencias experimentales. En nuestra disciplina, las ideas de modelo científico y de

modelización son ahora focos de reflexión y de trabajo, y toda esa producción académica ya está empezando a dar frutos en las prácticas concretas de enseñanza.

La idea de modelo que aquí expongo –en sintonía con ese corpus de artículos y libros citados– abre un sugerente espacio para la didáctica de las ciencias experimentales: tanto a la hora de conceptualizar el estatuto epistemológico de esta joven disciplina como a la hora de desarrollar procesos de intervención, innovación e investigación didácticas. Además, permite diseñar lo que Mercè Izquierdo-Aymerich (2000) llama una genuina actividad científica escolar, cuyo objetivo central (de naturaleza *epistémica*) sería dar sentido al mundo natural mediante modelos teóricos.

Para una sección significativa de nuestra comunidad, la nueva perspectiva aportada por la concepción semántica resultan importantes a la hora de hacer avanzar la didáctica de las ciencias experimentales como campo académico y de vincularla más significativamente con la transformación activa de la educación científica.

Ahora bien, la tesis que sostengo en este trabajo abre una serie de cuestiones para el debate en las comunidades académicas de las distintas didácticas específicas:

1. ¿Qué tanto consenso hay en la didáctica de las ciencias experimentales actual alrededor de lo que aquí llamé una aproximación basada en modelos¹? Es decir, ¿cuál es la significatividad de la muestra de investigadores/as seleccionada? ¿Está la disciplina en su totalidad ‘moviéndose’ paulatinamente hacia el uso de una filosofía de la ciencia semántica para pensar sobre los modelos?
2. ¿Cómo se desarrollaría una nueva didáctica de las ciencias experimentales modeloteórica? ¿Cuál sería el programa de trabajo a seguir para incorporar el modelo de modelo aquí expuesto en los diferentes campos de nuestra actividad?
3. La concepción semántica de modelo en ciencias experimentales, ¿es transferible a otras disciplinas? ¿Es el modelo de Giere suficientemente robusto para aplicarse a las ciencias sociales? ¿Qué tipo de ‘ajustes’ habría que realizar?

Nota

¹Hay en la literatura didáctica de las ciencias muchas referencias a una actividad escolar (o de enseñanza o de aprendizaje) ‘basada en modelos’ (ver, por ejemplo, algunos de los trabajos contenidos en Gilbert y Boulter, 2000) que están muy lejos de realizar una aproximación fundamentada en la filosofía de la ciencia semántica.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al Proyecto UBACyT X401, financiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires.

Referencias

- Adúriz-Bravo, A. (1999/2000). La didáctica de las ciencias como disciplina. *Enseñanza*, 17-18, 61-74.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2001). La didáctica de las ciencias experimentales como disciplina tecnocientífica autónoma, en Perales, F.J. et al. (eds.). *Las didácticas de las áreas curriculares en el siglo XXI*, volumen I, 291-302. Granada: Grupo Editorial Universitario.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(3). [En línea.] <http://www.saum.uvigo.es/reec>
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4, número especial 1, 40-49.

- Develaki, M. (2007). The model-based view of scientific theories and the structuring of school science programmes. *Science & Education*, 16(7), 725-749.
- Díez, J.A. y Moulines, U. (1999). *Fundamentos de filosofía de la ciencia*. Barcelona: Ariel. 2ª edición.
- Erduran, S. y Duschl, R. (2004). Interdisciplinary characterizations of models and the nature of chemical knowledge in the classroom. *Studies in Science Education*, 40, 111-144.
- Estany, A. (1993). *Introducción a la filosofía de la ciencia*. Barcelona: Crítica.
- Giere, R. (1992). *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Original en inglés de 1988.
- Gilbert, J. y Boulter, C. (eds.) (2000). *Developing models in science education*. Dordrecht: Kluwer.
- Gutiérrez, R. (2005). Polisemia actual del concepto 'modelo mental': Consecuencias para la investigación didáctica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10(2), 209-226. Recuperado el 1 de noviembre de 2008 de http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol10/n2/v10_n2_a4.htm
- Izquierdo-Aymerich, M. (2000). Fundamentos epistemológicos, en Perales, F.J. y Cañal, P. (comps.). *Didáctica de las ciencias experimentales: Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, 35-64. Alcoy: Marfil.
- Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.
- Joshua, S. y Dupin, J.J. (2005). *Introducción a la didáctica de las ciencias y la matemática*. Buenos Aires: Colihue. Original en francés de 1993.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Koponen, I.T. (2007). Models and modelling in physics education: A critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. *Science & Education*, 16(7-8), 751-773.
- Kuhn, T.S. (1971). *La estructura de la revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica. Original en inglés de 1962.
- Mosterín, J. (1984). *Conceptos y teorías en la ciencia*. Madrid: Alianza Editorial.
- Moulines, U. (1982). *Exploraciones metacientíficas: Estructura, desarrollo y contenido de la ciencia*. Madrid: Alianza Editorial.
- Sensevy, G., Tiberghien, A., Santini, J., Laubé, S. y Griggs, P. (2008). An epistemological approach to modeling: Cases studies and implications for science teaching. *Science Education*, 92(3), 424-446.
- Suppe, F. (2000). Understanding scientific theories: An assessment of developments, 1969-1998. *Philosophy of Science*, 67 (Proceedings), S102-S115.
- Wittgenstein, L. (1988). *Investigaciones filosóficas*. México: Instituto de Investigaciones Filosóficas-UNAM. Original en alemán de 1954.