

UN MODELO DE CIENCIA PARA EL ANÁLISIS EPISTEMOLÓGICO DE LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS NATURALES

Agustín Adúriz-Bravo

Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales (GEHyD), Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (CEFIEC), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN), Universidad de Buenos Aires (UBA). CEFIEC, Planta Baja, Pabellón 2, Ciudad Universitaria, Avenida Intendente Güiraldes 2160, (C1428EGA) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. E-mail: aadurizbravo@cefiec.fcen.uba.ar

Resumen

En este trabajo se expone un *modelo de ciencia* que podría resultar eficaz para entender el funcionamiento de la didáctica de las ciencias naturales como disciplina académica. Se entiende por ‘modelo de ciencia’ una construcción metacientífica que pretende explicar qué es la ciencia desde la selección de ciertos aspectos de análisis, a saber: gnoseológico, praxiológico, axiológico y retórico. Se quiere proporcionar fundamentación a la tesis de que, incluso teniendo en cuenta modelos epistemológicos “duros”, la didáctica de las ciencias naturales se puede ver como una disciplina con carácter científico. Para el meta-análisis se utilizan herramientas conceptuales creadas por la epistemología de los últimos cincuenta años.

Palabras clave: didáctica de las ciencias, epistemología, análisis metateórico, visión basada en modelos.

Abstract

In this paper I present a *model of science* that might result suitable to understand the functioning of science education as an academic discipline. I understand as ‘science model’ a meta-scientific construction that intends to explain what science is by selecting some aspects of analysis, i.e.: epistemological, praxiological, axiological and rhetorical. I want to support the thesis that, even taking into account ‘hard’ philosophical models, science education can be seen as a discipline with scientific character. To do the meta-analysis, I use conceptual tools created by the philosophy of science of the last fifty years.

Key-words: science education, philosophy of science, meta-theoretical analysis, model-based view.

Introducción

La *cuestión epistemológica*, es decir, la pregunta acerca del estatus académico de una disciplina y la naturaleza del conocimiento y la práctica asociadas a ella, es común a la didáctica general y a las diferentes didácticas específicas (Camilloni, 1994, 1996; Adúriz-Bravo, 2000; Eder y Adúriz-Bravo, 2001; Perales et al., 2001; Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2005; Camilloni et al., 2007). Tal preocupación de carácter *metateórico* aparece en la literatura de todas esas disciplinas,

relativamente jóvenes y en busca de consolidación, reconocimiento y legitimación. También dentro de la didáctica de las ciencias naturales se da esa “mirada hacia sí misma”¹.

Mi intención en este trabajo es compartir, con el futuro y actual profesorado de ciencias naturales y con los investigadores e investigadoras de la didáctica de las ciencias naturales, algunas herramientas epistemológicas que, a mi juicio, podrían resultar eficaces a la hora de entender – aunque más no sea, sólo desde algunos aspectos clave– el funcionamiento de una disciplina académica cualquiera. A lo largo del trabajo utilizo tales herramientas en una discusión teóricamente fundamentada de la llamada *epistemología de la didáctica de las ciencias naturales*. Parto del convencimiento de que es posible intervenir en los debates acerca de ciertos aspectos poco claros, problemáticos o discutidos de nuestra disciplina empleando para ello el aparato teórico de la epistemología reciente (esto es, de la segunda mitad del siglo XX).

En las siguientes secciones de este trabajo recojo algunos modelos metateóricos (especialmente generados desde el campo de la epistemología de las ciencias naturales) y los aplico a un posible estudio de la didáctica de las ciencias naturales, que sería una *disciplina tecnocientífica social* (Adúriz-Bravo, 2001). En este sentido, presento un *modelo de ciencia*, entendido como una construcción científica de carácter metadiscursivo (esto es, de segundo orden), modelo-teórica à *la Giere* (1992), que pretende explicar qué es la ciencia desde cierta selección pragmática de

¹En Adúriz-Bravo (2001) hay una revisión, actualizada a ese momento, de trabajos que hacen un análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias naturales. Desde entonces se han sumado algunos estudios más, de autores como Piet Lijnse, Laurence Viennot, Dimitris Psillos o Rómulo Gallego.

perspectivas de meta-análisis elegidas por su capacidad de dar cuenta de la *naturaleza de la ciencia*.

Un modelo de ciencia “complejo” para la didáctica de las ciencias naturales

Los modelos epistemológicos de los que me valgo para la tarea de caracterizar la didáctica de las ciencias naturales se enfocan en cuatro dimensiones de análisis:

1. la dimensión *gnoseológica*, que se refiere a la estructura de conocimiento de la disciplina;
2. la dimensión *praxiológica*, que se refiere a la producción, el uso y la aplicación de ese conocimiento;
3. la dimensión *axiológica*, que se refiere a los valores implicados tanto en el proceso como en el producto de la investigación; y
4. la dimensión *retórica*, que se refiere a los lenguajes puestos en juego en tal investigación, y que incluyen una componente comunicativo y de convencimiento que le es propia.

La tesis que sostengo aquí es que resulta posible modelizar la didáctica de las ciencias naturales, en tanto que disciplina científica, con las mismas herramientas teóricas que sirven para modelizar cualquier otra disciplina científica consolidada (Adúriz-Bravo, 2001; Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2002, 2005). En este sentido, utilizo un modelo de ciencia que se construye a partir de un conjunto “ecléctico” de herramientas epistemológicas seleccionadas *desde la propia didáctica de las ciencias naturales*, herramientas que provienen de la epistemología de los últimos sesenta años y que tienen en común ser *moderadamente realistas y racionalistas* (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2005).

La epistemología contemporánea concibe la ciencia como un fenómeno singularmente complejo, en el cual las facetas de proceso y de producto están íntimamente ligadas y resultan difíciles de separar. Esta visión “complejizada” rompe con las tradicionales divisiones tajantes entre el contexto de descubrimiento y el contexto de justificación (Echeverría, 1995), entre el científico individual y la comunidad científica (Giere, 1992) y entre el discurso escrito institucionalizado y la práctica “privada” de hacer ciencia (Izquierdo-Aymerich, 2000). Con la dilución de estas dicotomías, se ha avanzado hacia una serie de modelos epistemológicos que pretenden dar cuenta de las relaciones entre los hechos del mundo y el conocimiento científico. Estos modelos se enfocan sobre diferentes aspectos parciales de su objeto representado –la ciencia–, pero comparten algunas características comunes que los alejan de la llamada *concepción heredada* de la epistemología:

1. aplican el rótulo de ‘disciplina científica’ a una serie de campos tradicionalmente excluidos por la ciencia “positiva”, mal llamada ‘experimental’;
2. sitúan la ciencia de cada momento histórico en el centro de un rico sistema de relaciones sociales y culturales, desvaneciendo así la distinción tajante entre historia científica *interna* y *externa*;
3. *naturalizan* el juicio científico, viéndolo como una interacción entre decisiones individuales y factores sociales (Giere, 1992);
4. desplazan el centro de interés del análisis epistémico desde la unidad ‘teoría’ hacia la unidad ‘modelo’ (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2005; Sensevy et al., 2008);

5. enriquecen el concepto de *semiosis* científica incorporando aspectos que provienen de la intervención (experimental o de otros tipos) y de la elaboración del texto científico (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2005);
6. se ocupan de las componentes práctica y valórica de las ideas científicas; y
7. se preocupan por los fenómenos de transmisión, perpetuación y comunicación de la ciencia.

En las próximas tres secciones muestro algunos de esos modelos, que a mi juicio pueden resultar potentes para el análisis, separados con el criterio de que algunos atienden más a la ciencia como *actividad*, otros, a la ciencia como *conocimiento*, y los últimos, a la ciencia como *discurso*.

La ciencia es una práctica teórica

La consideración de la propia actividad científica como un componente importante del enfoque epistemológico es relativamente reciente. En general, el estudio de la actividad científica desde un punto de vista no estrictamente *metodológico* se había relegado a otras disciplinas metacientíficas ajenas a la canónica *reconstrucción racional* de la ciencia, tales como la psicología de la ciencia y la sociología de la ciencia (Echeverría, 1995). Esta arbitraria división de tareas estaba basada en la posibilidad de una precisa separación entre la actividad científica y el producto que de ella se deriva, que es el conocimiento científico. El cuestionamiento de la transparencia de tal separación ha exigido revisar el tradicional enfoque normativo, formal y racionalista de la epistemología durante el proceso de *naturalización* de la disciplina (Giere, 1992; Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003).

Es así que actualmente hay disponibles variados modelos de la actividad científica con una genuina perspectiva epistemológica, que estudian los diferentes aspectos constituyentes de la ciencia buscando sus interrelaciones. A continuación expongo aportaciones de cinco de estos modelos de la actividad científica que me parecen sugerentes para analizar nuestra disciplina:

1. el *modelo tecnocientífico*, que da cuenta de la voluntad que tiene la ciencia de intervenir activamente en el mundo para transformarlo en profundidad;
2. el *modelo de contextos científicos*, que explica la imbricación de la ciencia en el marco sociocultural que la atraviesa;
3. el *modelo de racionalidad reticular*, que resalta la interacción de los fines de la ciencia con sus teorías y métodos;
4. el *modelo cognitivo de ciencia*, que plantea una idea naturalizada (hipotética) de racionalidad y sintoniza con los hallazgos de la ciencia cognitiva; y
5. el *modelo axiológico de ciencia*, que destaca el papel central de valores generales de distinto tipo en el ámbito epistémico.

La ciencia es una práctica transformadora

En nuestros días, son varios los autores y autoras que ven la ciencia como una empresa fundamentalmente *transformadora* de la realidad natural y cultural (Hacking, 1983; Echeverría, 1995). En este contexto, se considera que el conocimiento de la naturaleza –y la sociedad– está dirigido esencialmente a su dominio controlado. Conocimiento y dominio son tenidos como los objetivos *internos* –ambos igualmente importantes, e íntimamente ligados– de toda actividad

científica. Esta concepción de la ciencia que aquí presento, y que es compatible con el realismo, está cercana al *instrumentalismo moderado* de Ulises Moulines (1991),

que concibe el conocimiento científico como un saber del tipo *know-how* (...) más que del tipo *know-that*. (p. 108; subrayado en el original)

La ciencia, entonces, es vista como una forma de *representar* el mundo capaz de *intervenir* activamente en él. Esta caracterización nos provee de una herramienta poderosa para demarcar la ciencia de otro tipo de representaciones, menos eficaces para intervenir a gran escala. Lo esencial de la ciencia es, pues, su capacidad innovadora, su facultad para producir nuevos fenómenos (Echeverría, 1995).

Esta notable eficacia transformadora de la ciencia, constitutiva de su misma esencia, nos permite hablar actualmente de las *tecnociencias* como vastos conjuntos complejos formados por las disciplinas explicativas y sus tecnologías asociadas (Hacking, 1983; Echeverría, 1995). El concepto de tecnociencia, sin embargo, no implica que ciencia y tecnología sean inseparables e indistinguibles, sino que nos permite modelar un conjunto de actividades humanas ricamente interrelacionadas que transforman las formas de *pensar*, *decir* y *hacer* sobre el mundo. Dichas operaciones de *representación*, *discurso* y *acción* científicas están dirigidas a la intervención activa en la realidad natural y cultural, al punto que casi puede afirmarse que toda la empresa científica aparece encaminada finalmente a dar cuenta de los logros técnicos (Samaja, 1994).

De lo expuesto aquí, se sigue que la distinción tradicional entre disciplinas puramente teóricas y disciplinas prácticas (o aplicadas) se vuelve hoy bastante relativa. Podemos sostener que cualquier disciplina científica, independientemente del grado de formalización teórica de sus objetos, tiene metas prácticas implícitas y explícitas. *Todas* las disciplinas tecnocientíficas están dirigidas a transformar la realidad en forma conceptual, discursiva y material. En las tecnociencias, las formas de entender el mundo están íntimamente ligadas a las formas de *hacer* (Echeverría, 1995; Izquierdo-Aymerich, Sanmartí y Espinet, 1999).

Este primer modelo epistemológico me permite hablar de la didáctica de las ciencias naturales como una tecnociencia (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2002, 2005), cuyo ámbito de intervención es la *educación científica* en todos sus aspectos. De este modo, la labor del profesorado de ciencias, la producción de innovaciones para la enseñanza de las ciencias, y la generación de modelos teóricos sobre la educación científica son actividades que interactúan al interior del campo de acción de la didáctica de las ciencias. En particular, se podría caracterizar la didáctica, dentro de un modelo de racionalidad hipotética, como una *ciencia de diseño* (Estany e Izquierdo-Aymerich, 2001), comparándola con actividades tales como la medicina, la arquitectura y la ingeniería. Esto es, actividades *informadas* por modelos teóricos, pero que no se reducen a ellos.

Cuando hablo de la didáctica de las ciencias naturales como tecnociencia, me quiero separar explícitamente de concepciones *tecnologistas* tradicionales. No participo de esta visión *eficientista* que aplica instrumentos tecnológicos de medición, sino que tengo más bien una visión de la didáctica en la cual se crean –para hablar, pensar y hacer en el aula de ciencias–

instrumentos y lenguajes adecuados a los valores que la comunidad sostiene para la educación científica y al modelo de ciencia que ella detenta.

La ciencia es una práctica situada

La ciencia actual involucra numerosas actividades bien diferentes, pero estrechamente relacionadas, que permean toda la estructura social. Entre estas actividades se cuentan el desarrollo de aplicaciones tecnológicas, la valoración metateórica del conocimiento, y la propia difusión de la cultura científica (Echeverría, 1995; Izquierdo-Aymerich, 2000). El modelo quizás más elaborado del que disponemos hasta el momento para dar cuenta de esta riqueza al interior de la ciencia es el propuesto por Javier Echeverría (1995). Este autor considera cuatro contextos en la actividad científica: el de *educación/difusión*, el de *innovación*, el de *evaluación* y el de *aplicación*.

La visión de la ciencia como actividad multicontextual tiene importantes consecuencias en la explicación del sistema de relaciones que se dan entre la ciencia y la sociedad. Este modelo recupera las tecnologías, las valoraciones y la divulgación científica como elementos susceptibles de un análisis epistemológico. En particular, este modelo afirma la importancia de la educación científica en su calidad de empresa intrínsecamente científica, ricamente conectada con las demás actividades de la ciencia erudita. De allí la pertinencia de este modelo teórico para conceptualizar epistemológicamente la didáctica de las ciencias naturales como un estudio altamente específico del contexto de educación de las ciencias. El modelo de contextos permite, por un lado, un análisis muy rico de la diversidad que presenta la actividad didáctica de las ciencias actual y, por

otro lado, la definición del constructo teórico de *ciencia escolar* (Izquierdo-Aymerich, 2000, 2005). Estas son dos derivaciones del modelo que pueden resultar valiosas para el profesorado de ciencias naturales.

La ciencia es una práctica caracterizada por sus finalidades

La ciencia como actividad social se distingue de otras empresas intelectuales por la importante adecuación racional que exhibe entre *medios* y *finés*. Como ella constituye una actividad intrínsecamente *epistémica*, tiene por meta construir *explicaciones* que se suponen válidas y eficaces sobre la realidad. Y tal actividad de construcción de explicaciones se dice *racional* en tanto que adecua los medios materiales e intelectuales disponibles a la consecución de su objetivo (Giere, 1992).

A su vez, medios y fines están adaptados sistémicamente a los instrumentos conceptuales (los *modelos*) que crea la ciencia. Hablamos así de la ciencia que en su conjunto exhibe una *racionalidad reticular* de carácter sistémico (Laudan, 1978; Duschl, 1997). En cada etapa de la historia, por tanto, los tres componentes de la empresa científica (teorías, métodos y objetivos) se regulan entre sí, delineando el contorno de las capacidades tecnocientíficas disponibles.

Este modelo teórico nos permite pensar en la actividad de la didáctica de las ciencias naturales en términos de su relación con los valores socialmente proclamados para la educación científica, valores que por cierto cambian con el tiempo. En este sentido, el constructivismo didáctico de las ciencias sería, más que una teoría, un marco de ideas (*paradigma* en sentido amplio) que regula

fuertemente la metodología de investigación, los modelos teóricos y tecnológicos, y los problemas y objetivos que sustenta la comunidad de didactas de las ciencias y de profesores y profesoras de ciencias naturales.

La ciencia es una práctica de carácter cognitivo

La *producción* de un conocimiento científico *que dé sentido* es tomada como la actividad central de la ciencia. En las nuevas visiones, la interacción entre esta producción individual y la validación colectiva se puede ver como un proceso de dos caras: por un lado, la *representación* del mundo, en la cual el científico funciona como agente cognitivo, y, por otro lado, la *selección* de las representaciones, en la cual el científico funciona como un agente *decisor* (Giere, 1992).

El proceso se realiza en el seno de un sistema de relaciones sociales y de valores que influyen en las representaciones y en las decisiones individuales. Este proceso complejo da por resultado unas poblaciones conceptuales que evolucionan en el tiempo, y que se agrupan históricamente en *disciplinas* (Toulmin, 1977). Las disciplinas, a su vez, están relacionadas con la aparición de verdaderas corporaciones de especialistas; ellas constituyen empresas intelectuales que movilizan recursos humanos, materiales y culturales, y que solo pueden desplegarse en determinados contextos sociopolíticos muy específicos (Kuhn, 1971; Echeverría, 1995).

La actividad cognitiva de la ciencia, en su dimensión individual y en su inserción social, necesita, para ser explicada más ricamente, de una ampliación del concepto de *racionalidad*. parece pertinente hablar entonces de una racionalidad *moderada* (Newton-Smith, 1981), partiendo de la

base de que la actividad científica *es* paradigmáticamente racional y de que su estudio naturalista da luz sobre el concepto mismo de racionalidad en la actuación científica (Giere, 1992; Izquierdo-Aymerich, 2000).

Así, el científico toma decisiones racionales, influidas y significadas por el contexto más amplio en el que está inmerso. Esto es particularmente pertinente en el caso de la didáctica de las ciencias naturales, las cuales la racionalidad de sus miembros en los procesos de investigación e innovación está condicionada (sobredeterminada) por los valores extrínsecos socialmente impuestos para la educación científica y, al mismo tiempo, *por la propia tradición docente*.

La ciencia es una práctica cargada de valores

La premisa de que la ciencia es una actividad humana influida por, e influyente sobre, el contexto sociocultural general, ha sido incorporada solo recientemente en el terreno de la epistemología, que, dominada por el neopositivismo, enfatizaba fuertemente la supuesta objetividad y neutralidad a toda prueba del conocimiento científico (Chalmers, 1992). Según visiones epistemológicas recientes, la ciencia –en tanto que creación humana, cultural y discursiva– cobra pleno sentido en el seno del sistema de relaciones sociales en el cual participa activamente (Matthews, 1994; Izquierdo-Aymerich, 2000). La racionalidad de sus miembros en consecuencia *relativa* a dicho sistema.

Juan Samaja (1994) añade a las dos finalidades tradicionales de la actividad científica (el conocimiento en sí mismo y sus consecuencias técnicas) una importante función de

“autorregulación de la vida social” (p. 22), por la cual la ciencia está implicada profundamente y de diversas maneras en el desarrollo del sistema social amplio del mundo occidental contemporáneo. La aceptación de esta función pone en el centro de la atención epistemológica los *valores*. La ciencia actividad humana, está guiada por valores que se suponen previos a ella, y que son propios del contexto social y cultural del cual participa (Echeverría, 1995). La epistemología se amplía entonces para dar cuenta de la *cuestión axiológica*.

El estudio de los valores de la ciencia es además interesante para construir una adecuada visión de su *historia*. Se entiende que los valores que guían una disciplina científica cambian a lo largo del tiempo y, con ellos, lo que se considera o no científico en cada época (Izquierdo-Aymerich, 2000). En este sentido, el nuevo componente axiológico de la epistemología permite completar el modelo reticular de Larry Laudan, añadiendo el vértice de los valores, y considerando la posibilidad de que los cambios científicos se inicien en él.

Para Echeverría (1995), los objetivos de una disciplina surgen a partir de unos valores previos; en esta relación profunda radica la importancia del análisis axiológico de los *finés* de la didáctica de las ciencias naturales. Tal análisis, además, es una herramienta más para comprender la especificidad y autonomía de nuestra disciplina, que se desmarca de otras como la pedagogía y la psicología no solo por sus objetos, perspectivas, métodos y modelos, sino también por los valores que detenta y los fines que persigue.

El estudio axiológico de la didáctica de las ciencias naturales da luz tanto sobre las metas tecnológicas que ella se propone (la más fundamental, mejorar la educación científica), como

sobre los recursos teóricos que maneja para alcanzar estas metas. Las componentes prácticas y teóricas de la disciplina están conectadas a los valores epistémicos y sociales que la generan. Esos valores, a los que la didáctica de las ciencias naturales adhiere, aparecen en un entrelazo de los diferentes sectores sociales implicados en relación con la ciencia. En este sentido, el currículo de ciencias representa un intento de equilibrio entre las diversas demandas sociales impuestas sobre la educación científica, pero no puede responder igualmente bien a todas ellas (Fensham, 1988). La didáctica de las ciencias naturales toma postura, por tanto, favoreciendo algunas y postergando otras.

La ciencia es un conocimiento basado en modelos

La actividad cognitiva de los científicos da como resultado unas *representaciones* abstractas capaces de comprender y transformar la realidad. Estos *modelos* del mundo se ponen en juego en *explicaciones* expresadas por medio de afirmaciones de carácter teórico y práctico sobre los sistemas reales. Las afirmaciones se plasman finalmente en un discurso escrito, susceptible de análisis lingüístico, que constituye un producto objetivado bien identificable (Matthews, 1994). Es decir que los contenidos de la ciencia pueden ser considerados primeramente *representaciones* sobre el mundo que pretenden referirse a él y darle sentido (esto es, explicarlo). Estas representaciones son las que están caracterizadas (*definidas*) por medio de los diversos usos que la ciencia hace del lenguaje natural y de otros sistemas simbólicos. La ciencia, como producto cultural accesible y enseñable, es conocimiento formulado lingüísticamente. En esta sección me quiero ocupar de los aspectos sintácticos y semánticos del conocimiento científico.

Dedicaré sendos parágrafos a los cuatro modelos epistemológicos siguientes:

1. la *concepción explicativa* del conocimiento, por la cual la ciencia es vista como una empresa que principalmente busca *dar sentido*;
2. la *concepción basada en modelos*, que considera esas entidades como la unidad estructural y funcional de la ciencia;
3. la *concepción estructuralista*, que atiende a la forma en que los modelos teóricos están conectados entre sí; y
4. un modelo de cambio de la ciencia basado en la idea kuhniana de *cambio de Gestalt* científica (o cambio “en bloque”).

Los dos primeros modelos a mi juicio son particularmente relevantes para la formación del profesorado de ciencias naturales, no ya en su componente epistemológica, sino también en el componente didáctico específico propiamente dicho. Son modelos que dicen mucho sobre la naturaleza de la *actividad científica escolar*: una actividad explicativa y argumentativa, basada en modelos teóricos escolares (Izquierdo-Aymerich, Sanmartí y Espinet, 1999; Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003).

La ciencia es un conocimiento explicativo

Una distinción epistemológica tradicional es aquella entre *descripción* y *prescripción*. Sin embargo, como bien señala Ulises Moulines (1991), el conocimiento científico no se acomoda totalmente a ninguna de estas dos categorías: es *explicativo*. Las teorías científicas son aparatos

conceptuales diseñados para *dar sentido* a la realidad pretendiendo representarla de alguna manera. Lo que diferencia a las ciencias de otras actividades es, pues, el uso de los llamados *modelos teóricos* (Giere, 1992; Izquierdo-Aymerich, 2000).

La actividad cognitiva del científico resulta en patrones de explicación del mundo que luego son seleccionados racionalmente por la comunidad de la cual forma parte. Estos patrones constituyen explicaciones *pragmáticamente* dirigidas a la solución de problemas cognitivos concretos en el ámbito científico y tecnológico, más que exposiciones de verdades inmutables sobre la realidad ontológica, oculta para ser descubierta. En este sentido, en la empresa científica no se trata de comunicar “verdades sobre el mundo”, sino de aumentar nuestra comprensión de la realidad (Izquierdo-Aymerich, 2000). A su vez, las explicaciones científicas, mediadas por modelos, son dirigidas a la intervención en algún nivel de la representación o de la realidad; en este sentido, el conocimiento científico tiene fines fuertemente *operatorios* (Samaja, 1994). Es su naturaleza teórica la que le da el poder sobre la realidad, permitiéndole alcanzar más eficazmente estos fines.

Creo que podría decirse que la didáctica de las ciencias naturales constituye un conjunto teórico de explicaciones sobre el funcionamiento de la educación científica, potencialmente capaces de intervenir sobre ella para mejorarla. Estas explicaciones están ancladas en modelos didácticos, esto es, *modelos teóricos de la didáctica de las ciencias* (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2002, 2005).

La ciencia es un conocimiento que modeliza

Los modelos de ciencia más actuales enfatizan el carácter *representacional* del conocimiento científico, dejando un poco de lado sus aspectos formales, que quedan por tanto relativizados. Así, estos modelos epistemológicos son capaces de relacionar la representación de naturaleza científica con otro tipo de representaciones humanas de la realidad, explorando sus semejanzas y diferencias (Giere, 1992). En coherencia con estos modelos, mi descripción preferida de las teorías científicas es de carácter *semántico*.

En el enfoque semántico, la unidad de análisis fundamental es el *modelo*. Un modelo científico es una entidad no lingüística abstracta caracterizada a través de una serie de enunciados simbólicos, que son de variadas clases: leyes, principios, definiciones, ecuaciones, analogías, metáforas, imágenes, maquetas. Estas “enunciaciones” son trivialmente verdaderas en el modelo, en el sentido de que este se define como la *entidad que satisface todas y cada una de ellas*. Por tanto, esa “verdad” enunciativa es una característica *estructural* intrínseca de los modelos, poco interesante para dar cuenta de su pragmática.

Los modelos son de por sí entidades inexistentes en la realidad. Constituyen representaciones teóricas de los sistemas, que también en sí mismos son “re-presentaciones” (simplificadas e idealizadas). Esta capacidad de la ciencia de predicar sobre una realidad que no existe como tal es vista por muchos epistemólogos como uno de los grandes logros de la empresa científica (Matthews, 1994).

Los modelos teóricos, a su vez, se conectan a la realidad empírica a través de un conjunto de relaciones de semejanza, expresadas lingüísticamente en enunciados que Giere (1992) llama

hipótesis teóricas. Las hipótesis teóricas exponen el *grado de adecuación* de cada modelo al sistema para el cual se plantea la analogía representacional; este grado de adecuación nunca es completo, sino que se selecciona en función de la precisión, el nivel de análisis y el ámbito de aplicación que se deseen. Por lo tanto, los modelos constituyen explicaciones *pragmáticas* de tipo analógico sobre la realidad, en ningún caso representaciones pictóricas directas de la misma.

Según esto, el nuevo criterio de verdad que dice algo relevante sobre los modelos es el de la pertinencia y estrechez de la *relación de semejanza* entre entidades no lingüísticas (modelo abstracto y sistema real: Giere, 1992). Las relaciones de semejanza o *similaridad*, contextualmente adecuadas al problema que es necesario explicar, son susceptibles de contraste empírico (aunque no necesariamente *experimental* en sentido estricto).

Esta *concepción basada en modelos* es particularmente sugerente para entender el funcionamiento de la didáctica de las ciencias naturales (Sensevy et al., 2008). Tradicionalmente, se habría negado a este campo su estatuto científico por la ausencia de teorías generales. Sin embargo, podemos considerar que la didáctica de las ciencias naturales es una disciplina por derecho propio si reconocemos la existencia de una cantidad de modelos teóricos específicos. Estos modelos están ahora *coalesciendo* en familias temáticas, a modo de primeros intentos de “teorías didácticas” (Izquierdo-Aymerich, 2005).

La ciencia es un conocimiento estructurado

Los diferentes modelos que comparten un ámbito de aplicación están a menudo vinculados mutuamente por una relación de *parecidos de familia* à la Wittgenstein. Tal relación se explicita a través de la aparición de conceptos compartidos por varios de estos modelos, conceptos a los que se supone referidos a una misma realidad. El conjunto de modelos y sus vinculaciones, junto con los sistemas y las hipótesis que los “proyectan” sobre la realidad, constituye entonces la genuina *teoría científica* (Giere, 1992).

Las teorías pueden ser consideradas como constituidas por un núcleo y un campo semántico. El *núcleo* contiene la caracterización lingüística de los modelos y de las conexiones que se establecen entre ellos; su *campo semántico* (o *dominio*) está determinado por las aplicaciones de los diferentes modelos a la realidad. Estas aplicaciones a su vez involucran transformaciones conceptuales, discursivas y materiales sobre dicha realidad. Por tanto, la teoría contiene también un *saber hacer* no lingüístico adecuado a la acción tecnocientífica (Izquierdo-Aymerich, 2000).

Desde el punto de vista semántico, las teorías son *familias de modelos* aplicados a la realidad para estructurarla conceptualmente. Estas familias se caracterizan, sintácticamente hablando, a través de enunciados que definen, agrupan y conectan los modelos. Esta es, en esencia, la visión teórica de la relación entre las representaciones científicas y el conocimiento científico a la que adhiero en el análisis aquí expuesto.

Dado que la teoría es una familia de entidades no lingüísticas, lo esencial en ella es la *relevancia semántica* que tiene para conectar con la realidad. Y en tanto que los modelos que forman parte de la teoría están caracterizados lingüísticamente, la teoría funciona como un poderoso

organizador conceptual del mundo de fenómenos. En coherencia con esta concepción epistemológica de naturaleza semántica, considero que los *modelos didácticos*

constituyen las unidades estructurales fundamentales del aparato teórico de la Didáctica de las Ciencias. (Espinet, 1999: 17)

Las disciplinas jóvenes se conforman a partir de una serie de modelos a menudo importados y adaptados de otras disciplinas, lo que hace difícil marcar en sus inicios los límites epistemológicos. Esto podría estar sucediendo actualmente en la didáctica de las ciencias naturales (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2002, 2005).

Podríamos afirmar que durante muchos años la didáctica de las ciencias naturales se ha nutrido de modelos originalmente psicológicos, pedagógicos y epistemológicos, ya sea para adaptarlos a la situación didáctica particular, para tomarlos como base de una *analogía*, o para integrarlos en modelos propiamente didácticos de las ciencias. Sin embargo, es comúnmente aceptado por los miembros de la comunidad de didactas de las ciencias naturales que la disciplina posee ya numerosos modelos específicos que trascienden los aportados por las otras ciencias; en este sentido, se trata de modelos *propios* de nuestra disciplina (Adúriz-Bravo, 2001; Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2005). Estos modelos, a su vez, se reconocen como agrupados en familias temáticas fuertes que constituyen verdaderas *líneas* de investigación. Pero hay también consenso acerca de que estas familias de modelos aún no se encuentran estructuradas completamente alrededor de núcleos teóricos compactos. En otras palabras, diversos autores afirman que todavía no disponemos de genuinas *teorías didácticas de las ciencias* (Izquierdo-Aymerich, 2005).

La misma Mercè Izquierdo-Aymerich desarrolla su visión en la cual el *metamodelo* curricular vertebró los aportes de otras disciplinas en una genuina perspectiva didáctica, tendiendo a constituir un inicio de teoría en la didáctica de las ciencias naturales. Este núcleo teórico alrededor del cual se organizan los diferentes modelos es lo que ella identifica como el *constructivismo* didáctico de las ciencias.

La ciencia es un conocimiento evolutivo

Las ideas estructuralistas, semánticas, modelo-teóricas y cognitivas, aunque dirigidas principalmente a dar cuenta de la estructura *sincrónica* de las disciplinas científicas, tienen el interés adicional de proporcionar modelos diacrónicos, o de *cambio científico*. Esto es así porque ellas han retomado desde una perspectiva internalista unidades de análisis originalmente externalistas. En las obras de Giere (1992) y Moulines (1991), tales modelos de cambio aparecen desarrollados con extensión. Aquí quiero realizar una brevísima puntualización adecuada al propósito de echar luz sobre la didáctica de las ciencias naturales.

El período de *ciencia normal* (Kuhn, 1971) puede ser entendido como un acuerdo intradisciplinar acerca del conjunto de modelos paradigmáticos que la comunidad usará como guía. La expansión de la disciplina se realiza a través de la utilización extensiva de estos modelos. Dado que las teorías científicas se constituyen a través de la agrupación de estos modelos por acreción, ellas evolucionan en el tiempo, enriqueciéndose a través de la expansión de su referencia empírica y la profundización de su caracterización lingüística.

Como las teorías son *estructuras*, a veces se sustituyen a modo de bloque (a través de un cambio de Gestalt), reemplazándose completa y abruptamente por nuevos conjuntos de modelos que aparezcan y prueben su mayor eficacia conceptual. Este reemplazo se identifica con lo que Thomas Kuhn (1971) llama *revolución*. Así, la evolución de la ciencia en general puede ser asimilada a la evolución de las familias de modelos que la conforman. Estas familias van expandiéndose y enriqueciéndose en el tiempo, e incluso pueden sufrir bruscas alteraciones o desaparecer completamente (Izquierdo-Aymerich, 2000).

Con este aparato teórico se podría, yo creo, echar una mirada a las líneas actuales de investigación en la didáctica de las ciencias naturales, viendo cuáles son “progresivas” o “regresivas”, según la terminología de Imre Lakatos. Sería posible, en cierta medida, obtener una idea de cómo evolucionará la disciplina en los próximos años.

La ciencia es un discurso *racional y razonable*

La ciencia se apoya en usos muy específicos del lenguaje natural. Los modelos científicos son representaciones “racionales y razonables” (Izquierdo-Aymerich y Aliberas, 2004) del mundo que operan sobre él, pero que deben inscribirse en diversos sistemas de símbolos para asegurar su operativización, su aplicación, su discusión, su comunicación y su perpetuación. El discurso científico, entonces, puede ser estudiado desde su *pragmática*, esto es, desde la forma en que es puesto en acción para referir a los datos empíricos. Tal referencia se logra a través de la

construcción de los hechos científicos, que pretenden conectar con el mundo real además de ser estructuraciones de fenómenos (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003).

Por otra parte, como este discurso escrito verdaderamente *reemplaza* la actividad científica en los libros de texto, que son los principales órganos difusores de la ciencia (Kuhn, 1971; Giere, 1992), resulta interesante estudiar las herramientas *retóricas* por medio de las cuales tiene lugar dicha sustitución semiótica (Izquierdo-Aymerich, 2000).

Quiero presentar aquí tres perspectivas epistemológicas que pueden ser útiles para analizar la didáctica de las ciencias naturales como discurso:

1. una concepción de la ciencia como una *práctica semiótica* (dotadora de sentido);
2. un modelo de *reconstrucción escrita del experimento científico*; y
3. un análisis *retórico* del discurso científico.

Estas perspectivas me parecen valiosas para el profesorado de ciencias naturales y los investigadores e investigadoras en didáctica de las ciencias naturales al menos en tres sentidos complementarios: en primer lugar, para entender la ciencia erudita a fin de poder *transponerla* adecuadamente; en segundo lugar, para estructurar una actividad científica escolar más rica; y por último, para ser aplicadas al análisis de la propia didáctica de las ciencias naturales como disciplina.

La ciencia es un discurso para la praxis

Una parte importante de la actividad dentro de las ciencias puede ser caracterizada por medio de los procesos semióticos siguientes: pensar *en* los modelos teóricos, pensar *con* los modelos teóricos, y pensar *sobre* los modelos teóricos. Pensar en el modelo científico implica trabajar dentro de su estructura semiótica, operando sobre los signos que la componen. Esto supone manipular entidades que no tienen existencia alguna en la realidad. Las actuaciones se realizan con relativa independencia de las vinculaciones que el modelo sobre el que se interviene mantiene con el sistema real que representa. Este trabajo es propio de la porción *teórica* de una disciplina científica. A través de él se explora y expande la semántica de las entidades representacionales utilizadas, y se caracteriza estas representaciones en forma rigurosa por medio de diversos enunciados.

Pensar con el modelo implica rastrear sus conexiones con la realidad por él representada; es decir, dotar al modelo de significados sobre el mundo, y de esta forma intervenir activamente en la realidad, tanto desde el pensamiento y el discurso como desde la acción. Este es el trabajo más característico de la práctica científica *experimental* en sentido amplio, o de contraste empírico. A través de ella, ponemos en acción patrones de razonamiento *abductivo* (Samaja, 1994; Giere, 1992), mediante los cuales conectamos los modelos a la realidad analógicamente. Luego sometemos a contrastación las predicciones de nuestras analogías, para lo cual realizamos una verdadera *reconstrucción teórica de los hechos* (Izquierdo-Aymerich, 2000), que se incrustan así en el seno del modelo.

Los hechos reconstruidos proporcionan un apoyo al modelo que a menudo no es más que retórico, pues

inevitablemente hay un vacío lógico entre la evidencia finita, selectiva, disponible para apoyar las afirmaciones científicas y la generalidad de esas mismas afirmaciones. (Chalmers, 1992: 19)

Por último, pensar sobre el modelo implica revisar el pensamiento *en* y *con* desde un segundo nivel de discurso, emitiendo juicios de valor acerca de la validez y pertinencia de las operaciones y actuaciones realizadas. Esta es la labor que caracteriza a lo que yo llamo el *cinturón metateórico* de una disciplina científica, en el cual incluyo la reflexión de carácter didáctico (Adúriz-Bravo, 2001).

Los modelos se relacionan con las formas de explicación admisibles en cada disciplina históricamente situada. Desde el punto de vista de su contenido, porque las familias de modelos, mediante las hipótesis teóricas, imponen restricciones sobre lo que se puede hacer, decir y pensar (Izquierdo-Aymerich, 2000), restricciones que se han generado en las propias resistencias de la realidad. Y desde el punto de vista de su caracterización lingüística, porque los modelos proporcionan los *patrones de explicación* que se consideran válidos en cada momento del desarrollo de la disciplina.

Llevando estas ideas a la didáctica de las ciencias naturales, podemos considerar que pensar en los modelos didácticos implica muchas veces recurrir a elementos teóricos provenientes de disciplinas externas, para adaptarlos al propósito de diseñar la actividad científica escolar. Pensar con los modelos didácticos remite a intervenir en la educación científica con el compromiso ético

de mejorarla. Pensar sobre los modelos didácticos requiere, muy especialmente, reflexionar sobre las relaciones válidas entre las dos instancias anteriores.

La ciencia es un discurso “empírico”

La importancia de la experimentación en las ciencias naturales ha sido en general sobrevalorada, al punto de que estas son muchas veces llamadas ciencias *experimentales*. Esta distorsión del papel de la experimentación en la actividad científica tiene diversos problemas de cara a la construcción de un modelo epistemológico más adecuado. Primeramente, esta visión ingenua asigna a los *hechos* el lugar central en el conocimiento científico, creando una imagen de corte empirista totalmente alejada de la práctica científica actual, que está sustentada en los modelos teóricos (Duschl, 1997). En segundo lugar, el énfasis en la experimentación deja de lado otras formas de interacción con la realidad que pueden ser tanto o más importantes que ella en algunas disciplinas. El relativizar el papel de la experimentación en las ciencias no significa de ninguna manera negarle a esta relación con la realidad, ni adoptar posturas escépticas. Se trata de valorar el lugar del experimento y de otras formas de producción de hechos en el seno de los modelos teóricos, dentro de los cuales dichos hechos aparecen necesariamente *reconstruidos* a través del lenguaje.

El “núcleo” de una familia de modelos, en continua expansión, exhibe hipótesis acerca de las porciones de realidad que constituyen su campo semántico de aplicación; las hipótesis expresan el grado de adecuación entre los modelos teóricos y los sistemas reales. Dichas hipótesis teóricas son *operacionales*, en el sentido de que afirman consecuencias derivadas de la analogía entre

modelo y sistema que son susceptibles de contraste empírico (Giere, 1992). Una forma importante de contraste con la realidad es sin duda la experimentación, pero no es la única.

Ahora bien, la experimentación y otras formas de intervención en la realidad aparecen mediadas por *instrumentos* conceptuales, lingüísticos y materiales. Estos instrumentos necesitan de representaciones de su funcionamiento y de las acciones que con ellos pueden realizarse. Por ello, necesitamos un modelo conceptual y un modelo *instrumental* de la realidad. El modelo instrumental se circunscribe a menudo a una representación del funcionamiento de un aparato o de una herramienta tecnológica. Este modelo instrumental forma parte de la teoría, que tiene así carácter *praxiológico* (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2005).

Creo que este modelo de ciencia es completamente aplicable a la didáctica de las ciencias naturales. Pero debemos recordar que cuando hablo de experimentación y de instrumentos, no me remito a una visión “tecnologicista” que considera al profesorado de ciencias naturales como mero ejecutor de un plan de gestión eficientista. Hablo de una investigación didáctica hecha en el aula e involucrando al profesorado, para la cual se conciben nuevos instrumentos, dirigidos a la *regulación* de la actividad de enseñanza.

La ciencia es un discurso retórico

La creación de una realidad teórica ficticia, que es intrínseca a la ciencia, se apoya en un uso muy rico y complejo del lenguaje natural. En este párrafo marcaré alguna característica del lenguaje científico que me parece relevante para dar cuenta tanto de la forma en que las teorías

correlacionan con los hechos del mundo sobre los cuales predicen como de la forma en que ellas son validadas por la comunidad.

Por una parte, el lenguaje es esencial a la naturaleza de la ciencia, desde el momento en que esta es un discurso escrito, público y comunicable (Izquierdo-Aymerich, 2000; Echeverría, 1995).

Este discurso sigue reglas de formación muy estrictas que cambian históricamente; cada etapa de la ciencia tiene normas “aprobadas” para el registro y la difusión de resultados de investigación.

El discurso científico escrito, que se aleja crecientemente de la actividad, sufre diversas *reconstrucciones*, entre las cuales están las que Gooding (1992) llama *retórica* (destinada a convencer) y *didáctica* (destinada a enseñar); esas reconstrucciones se usan en la difusión de la ciencia, y resultan de sumo interés para nuestra disciplina.

El lenguaje científico puede considerarse un espacio semiótico en evolución, con variadas funciones retóricas, que se adecuan a los valores de cada época. La retórica es esencial a la ciencia, pues ella necesita *convencer* a sus audiencias. La mediación lingüística en las ciencias, entonces, nos aleja del conocimiento “copiado” de la realidad ontológica de las cosas, al introducir una dimensión constructiva; pero el conocimiento científico –aun estando lingüísticamente mediado– pretende referir a la realidad y estar firmemente anclado en ella.

La didáctica de las ciencias naturales como disciplina también puede ser objeto de un análisis retórico que siga los lineamientos que he expuesto. Este análisis podría mostrar, entre otras cosas, los mecanismos de convencimiento de los que se vale la comunidad académica para difundir sus

innovaciones en las aulas de ciencias naturales e implicar en forma comprometida al profesorado de ciencias naturales en la tarea de perpetuación del acervo científico.

Palabras finales

En este trabajo he intentado mostrar que algunas ideas epistemológicas actualizadas, creadas principalmente para estudiar las ciencias naturales, nos pueden dar mucho de sí para profundizar en la discusión acerca del estatus epistemológico de la didáctica de las ciencias naturales.

Necesariamente, ha sido un recorrido rápido y, por tanto, superficial, pero he tratado de privilegiar la presentación de una paleta amplia de recursos. Mi intención ha sido proporcionar alguna fundamentación a la tesis –que considero polémica– que afirma que, incluso utilizando modelos epistemológicos “duros”, la didáctica de las ciencias naturales “da la talla” como una disciplina que tiene, al menos en parte, un carácter científico difícil de discutir en nuestros días.

En cuanto a la atendible pregunta de por qué poner en marcha este modelo de ciencia para pensar *sobre* la didáctica de las ciencias naturales como disciplina, podría apuntar, al menos, a las siguientes razones de peso:

1. Porque la mirada de nuestra disciplina hacia sí misma todavía resulta útil, dado que ella se encuentra buscando “su lugar” en el espacio de la episteme.
2. Porque este ejercicio intelectual destruye mitos instalados acerca del análisis epistemológico; por ejemplo, que las disciplinas sociales y la investigación educativa son “algo distinto” de la ciencia rigurosa.

3. Porque lo hecho aquí resulta una instancia más de *aplicación* de un modelo que se puede sostener fructíferamente en relación con la ciencia que enseñamos.

Referencias

- Adúriz-Bravo, A. 2000. “Consideraciones acerca del estatuto epistemológico de la didáctica específica de las ciencias naturales”. *Revista del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Educación*. 9 (17): 49-52.
- Adúriz-Bravo, A. 2001. *Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias*. Bellaterra, Universitat Autònoma de Barcelona.
- 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). [Versión electrónica.] <http://www.saum.uvigo.es/reec>
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. 2005. “Utilising the ‘3P-model’ to characterise the discipline of didactics of science”. *Science & Education*. 14 (1): 29-41.
- Camilloni, A. 1994. “Epistemología de la didáctica de las ciencias sociales”, en Aisenberg, B. y Alderoqui, S. (comps.), *Didáctica de las ciencias sociales: Aportes y reflexiones*. 25-41. Buenos Aires, Paidós.
- Camilloni, A. 1996. De herencias, deudas y legados: Una introducción a las corrientes actuales de la Didáctica, en AA.VV., *Corrientes didácticas contemporáneas*. 17-40. Buenos Aires, Paidós.
- Camilloni, A., Cols, E., Basabe, L. y Feeney, S. 2007. *El saber didáctico*. Buenos Aires, Paidós.

- Chalmers, A. 1992. *La ciencia y cómo se elabora*. México, Siglo XXI. (Original en inglés de 1990.)
- Duschl, R. 1997. *Renovar la enseñanza de las ciencias: Importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid, Narcea. (Original en inglés de 1990.)
- Echeverría, J. 1995. *Filosofía de la ciencia*. Madrid, Akal.
- Eder, M.L. y Adúriz-Bravo, A. 2001. “Aproximación epistemológica a las relaciones entre la didáctica de las ciencias naturales y la didáctica general”. *Tecné, Episteme y Didaxis*. 9: 2-16.
- Espinet, M. 1999. “Memoria del proyecto docente”. Memoria inédita. Bellaterra, Universitat Autònoma de Barcelona.
- Estany, A. e Izquierdo-Aymerich, M. 2001. “Didactología: Una ciencia de diseño”. *Éndoxa*. 14: 13-34.
- Fensham, P. 1988. “Familiar but different: Some dilemmas and new directions in science education”, en Fensham, P. (ed.), *Development and dilemmas in science education*. 1-26. Londres: Falmer.
- Giere, R. 1992. *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*. México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (Original en inglés de 1988.)
- Gooding, D. 1992. “The procedural turn; or, Why do thought experiments work?”, en Giere, R. (Ed.), *Cognitive models of science*. 45-76. Minneapolis, University of Minnesota Press.
- Hacking, I. 1983. *Representing and intervening*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Izquierdo-Aymerich, M. 2000. “Fundamentos epistemológicos”, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.), *Didáctica de las ciencias experimentales: Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. 35-64. Alcoy, Marfil.

- Izquierdo-Aymerich, M. 2005. "Hacia una teoría de los contenidos escolares". *Enseñanza de las Ciencias*. 23 (1): 111-122.
- Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. 2003. "Epistemological foundations of school science". *Science & Education*. 12 (1): 27-43.
- Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. 2005. "La enseñanza de los componentes prácticos y axiológicos de los conceptos químicos", en Cabré, M.T. y Bach, C. (eds.), *Coneixement, llenguatge i discurs especialitzat*. 325-345. Barcelona, Institut Universitari de Lingüística Aplicada (UPF)/Documenta Universitària.
- Izquierdo-Aymerich, M. y Aliberas, J., con la colaboración de Adúriz-Bravo, A. 2004. *Pensar, actuar i parlar a la classe de ciències: Per un ensenyament de les ciències racional y raonable*. Bellaterra, Servei de Publicacions de la UAB.
- Izquierdo-Aymerich, M., Sanmartí, N. y Espinet, M. 1999. "Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales". *Enseñanza de las Ciencias*. 17 (1): 45-59.
- Kuhn, T. 1971. *La estructura de las revoluciones científicas*. México, Fondo de Cultura Económica. (Original en inglés de 1962.)
- Laudan, L. 1978. *Progress and its problems*. Berkeley, University of California Press.
- Matthews, M. 1994. *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. Nueva York, Routledge.
- Moulines, C.U. 1991. *Pluralidad y recursión: Estudios epistemológicos*. Madrid, Alianza.
- Newton-Smith, W. 1981. *The rationality of science*. Londres, Routledge.
- Perales, F.J. et al. (Eds.). 2001. *Las didácticas de las áreas curriculares en el siglo XXI*. Granada, Grupo Editorial Universitario.

Samaja, J. 1994. *Epistemología y metodología: Elementos para una teoría de la investigación científica* (ed. ampliada). Buenos Aires, Eudeba.

Sensevy, G., Tiberghien, A., Santini, J., Laubé, S. y Griggs, P. 2008. “An epistemological approach to modelling: Case studies and implications for science teaching”. *Science Education*. 92 (3): 424-446.

Toulmin, S. 1977. *La comprensión humana: I. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid, Alianza. (Original en inglés de 1972.)