

UN MODELO PARA INTRODUCIR LA NATURALEZA DE LA CIENCIA EN LA FORMACIÓN DE LOS PROFESORES DE CIENCIAS

AGUSTÍN ADÚRIZ-BRAVO*

Resumen

En este trabajo se presenta una posible utilización del llamado modelo didáctico generativo para la formación epistemológica del profesorado de ciencias. Exploramos una variante de este modelo que incluye la analogía como recurso didáctico central. Nuestras ideas se ejemplifican a través de tres actividades originales diseñadas para enseñar a los profesores de ciencias algunos tópicos epistemológicos relevantes.

Abstract

This paper presents a possible use of the didactic generative model for the epistemological education of science teachers. A variation of this model is explored, including the analogy as a central instructional tool. Examples of original activities to teach relevant epistemological topics to science teachers are provided.

Introducción

La llamada educación científica para todos, o alfabetización científica, tiene como uno de sus grandes lemas el reconocimiento de que es necesario educar a la población general tanto *en* la ciencia como *sobre* la ciencia (AAAS, 1989; Matthews, 1994; Millar y Osborne, 1998). Se trabaja con la hipótesis de que los ciudadanos, si reciben una sólida formación metacientífica, serán capaces de tomar decisiones fundamentadas acerca de asuntos científicos y tecnológicos de

* Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universitat Autònoma de Barcelona.

relevancia social, tales como la energía nuclear, la clonación, el SIDA o la conservación del medio ambiente (Quintanilla, 1999; Kolstø, 2000).

La extensión y profundidad que ha de asumir la componente metacientífica en el currículo de ciencias, así como el lugar relativo que ha de ocupar frente a los contenidos disciplinares propiamente dichos, son aún objeto de debate entre los didactas de las ciencias. Sin embargo, hay consenso alrededor de la idea de que el conocimiento científico por sí mismo no garantiza la capacidad de *aplicación* a las situaciones de la vida real. Se supone que esta capacidad se adquiriría, entre otras formas, mediante una reflexión de segundo orden acerca de la ciencia como actividad.

En coherencia con estas proclamas, los contenidos epistemológicos, históricos y sociológicos sobre las ciencias, conocidos genéricamente con el nombre de contenidos acerca de la *naturaleza de la ciencia*, están siendo introducidos en los currículos de ciencias para los diferentes niveles educativos en muchos países de Europa y América (McComas, 1998).

La introducción de este énfasis en la naturaleza de la ciencia dentro del currículo de ciencias ha generado consecuentemente la necesidad urgente de formar a los futuros y actuales profesores de ciencias en los contenidos metacientíficos; entre ellos, se ha prestado particular atención a los contenidos de la *epistemología*, o filosofía de la ciencia. En este sentido, hay disponibles actualmente diversas propuestas y actividades para enseñar tópicos epistemológicos importantes al profesorado de ciencias (Jiménez Aleixandre, 1996; Duschl, 1997; McComas, 1998; Izquierdo, 2000).

Ahora bien, estas propuestas plantean abordajes didácticos muy diversos, en lo que hace a la metodología concreta en el aula, la importancia relativa que se da a la epistemología en sí misma y, como instrumento, las escuelas epistemológicas que se seleccionan para enseñar, y las relaciones que se plantean con las ciencias y con su didáctica (Adúriz-Bravo, 2001a). Nuestras aportaciones surgen de la

necesidad de evaluar de alguna forma la calidad de estas propuestas y generar un intento de unificación de criterios teóricos y prácticos.

En este trabajo se presenta un esquema general de estrategia didáctica, adaptado del llamado *modelo generativo* de la didáctica de las ciencias constructivista (Osborne y Freyberg, 1995), que puede guiar la inclusión de los contenidos epistemológicos en la formación de los profesores de ciencias. Las líneas generales del modelo que aquí presentamos se ejemplifican mediante tres actividades didácticas originales que funcionan a modo de *ejemplos paradigmáticos* (Izquierdo, 1999) que pueden inspirar a los formadores del profesorado de ciencias.

En la primera sección, recogemos algunas consideraciones más bien amplias acerca de la educación epistemológica de los profesores de ciencias. En particular, trabajamos con el concepto teórico de *funcionalidad*, esto es, con la idea de que la formación epistemológica se ha de encarar teniendo siempre en cuenta su capacidad para incidir positivamente en la práctica real de los profesores de ciencias en el aula.

La segunda sección presenta la estrategia didáctica que proponemos, a la que hemos dado en llamar *modelo generativo expandido*. La expansión que ponemos en marcha se basa en el supuesto de que la *analogía* es una estrategia didáctica que puede ayudarnos a sortear las dificultades que provienen del alto nivel de abstracción de los contenidos epistemológicos (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001). En este sentido, sugerimos que la introducción de las herramientas formales para pensar sobre la naturaleza de la ciencia puede hacerse a partir de algunas situaciones de ficción o de la vida cotidiana que permitan construir analógicamente un problema cognitivo a resolver y dar sentido a los constructos epistemológicos.

La tercera sección describe las tres actividades didácticas que hemos diseñado, centradas en sendos tópicos epistemológicos considerados fundamentales por la didáctica de las ciencias actual: la diferencia entre los conceptos de descubrimiento e invención, la natu-

raleza de la explicación científica, y el rol de la analogía en el discurso científico.

La cuarta sección plantea algunas consideraciones finales de carácter genérico que pueden organizar la futura discusión acerca de los logros y las dificultades en el campo de la formación epistemológica de los profesores de ciencias. Creemos que este campo tiene un porvenir prometedor, tal como se intuye en el volumen de trabajos alrededor del tema que se vienen publicando en las actas de las reuniones del *International History, Philosophy and Science Teaching Group* (por ejemplo: Hills, 1992; Bevilacqua *et al.*, 2001; McComas, en prensa).

La componente epistemológica en la formación del profesorado de ciencias

El estudio del conocimiento de los profesores de ciencias es un área de investigación tradicional y muy activa en la didáctica de las ciencias. Dentro de esta área, una línea teórica en alza es la que habla del llamado *conocimiento profesional del profesor* (Mellado *et al.*, 1999), que combina aspectos teóricos y prácticos, explícitos y tácitos.

El modelo de Bromme (1988) supone que el conocimiento profesional del profesor está estructurado como un conjunto de dimensiones o parcelas declarativas de contenidos que se relacionan mutuamente en forma compleja. Entre estas dimensiones se cuentan la disciplinar, la pedagógica, la curricular y la *metateórica* (es decir, el conocimiento sobre el conocimiento). Nos interesa primordialmente analizar la naturaleza de esta última dimensión y la interacción que ella establece con las otras.

Nos apoyamos en la hipótesis de que la dimensión epistemológica propiamente dicha, esto es, la dimensión de reflexión crítica sobre la naturaleza de la ciencia, su evolución, y sus relaciones con la sociedad y la cultura, es capaz de dar estructura y coherencia a las demás dimensiones del conocimiento profesional (Adúriz-Bravo, Salazar *et*

al., 2001). En este sentido, la dimensión epistemológica del conocimiento del profesor de ciencias estaría relacionada con sus habilidades metacognitivas y autorregulatorias. Un modelo robusto acerca de la ciencia podría fundamentar modelos de enseñanza y de aprendizaje de las ciencias alineados con las actuales ideas teóricas que provienen de la psicología cognitiva y de la evaluación formadora (Izquierdo, 1999; Quintanilla, 1999).

Una segunda hipótesis que guía nuestro trabajo de formación epistemológica del profesorado de ciencias es que es necesario conseguir que los contenidos metateóricos alcancen *funcionalidad*, esto es, que tengan una incidencia positiva en la práctica de los profesores en el aula. Se ha criticado a menudo que los cursos de epistemología incluidos en el currículo de formación inicial del profesorado de ciencias se centran en esta disciplina por sí misma, sin explorar sus aportaciones para enriquecer la enseñanza de las ciencias. Contra esto, se trata de seleccionar aquellas ideas epistemológicas que resulten más significativas para los profesores y de mostrar explícitamente cómo ellas contribuyen a solucionar los problemas didácticos que ellos enfrentarán en el aula.

Puestos frente a la tarea curricular de selección y secuenciación de los contenidos epistemológicos que queremos enseñar a los profesores de ciencias, hemos trabajado con un constructo teórico de creación propia, al que hemos denominado *campos teóricos estructurantes* de la epistemología (Adúriz-Bravo, 2001b). La idea es identificar los grandes *modelos irreductibles* (Izquierdo, 1999) de esta disciplina, en el entendimiento de que ellos serán probablemente los más relevantes para la formación del profesorado de ciencias, en tanto que constituyen formas muy elaboradas de pensar sobre la ciencia.

La revisión de qué epistemología enseñar nos ha llevado también a cuestionar la falta de actualidad de muchos de los modelos epistemológicos que circulan en la formación del profesorado de ciencias. En este sentido, frente a la detección de que los modelos más utilizados provienen de la *nueva filosofía de la ciencia* de los años

'60, venimos abogando por la introducción de modelos más recientes, con un alto valor para la didáctica de las ciencias. Entre estos últimos destacamos el *modelo cognitivo de ciencia* de la epistemología semántica contemporánea (Giere, 1992; Quintanilla, 1999; Izquierdo y Adúriz-Bravo, en prensa).

También planteamos la necesidad de mantener una alta *coherencia* entre la formación epistemológica y las formaciones disciplinar y didáctica que reciben los profesores. En este sentido, nos inscribimos en la tradición constructivista de formación inicial del profesorado de ciencias, que trabaja con la idea de *profesional reflexivo* (Mellado *et al.*, 1999).

En un estudio anterior (Adúriz-Bravo, 2001b), más extenso, hemos repasado algunos de los debates que se dan actualmente en torno a cómo introducir la epistemología en la formación de los profesores de ciencias. Aquí nos concentraremos únicamente en un aspecto específico surgido de estos debates: la implementación didáctica de los contenidos epistemológicos. Asumimos el desafío de que estos contenidos han de asegurar su significatividad en relación con la práctica profesional del profesorado.

En nuestro trabajo con profesores de ciencias en formación y en activo, hemos ensayado el llamado modelo generativo, difundido por el paradigma constructivista de la didáctica de las ciencias. Dentro de este esquema general, hemos explorado el uso de la analogía como recurso didáctico central. Nuestra utilización de las analogías para la formación epistemológica sigue de cerca las ideas teóricas de *modelo didáctico analógico* (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001) y *modelo mediador didáctico* (Gómez y Sanmartí, 2001).

El modelo generativo expandido

El paradigma constructivista, entendido en su versión *didáctica* (Izquierdo, 1999), otorga una importancia central a las ideas que los profesores de ciencias traen a su formación inicial, y enfatiza la ne-

cesidad de que el aprendizaje de los nuevos contenidos resulte significativo. Con esta filosofía guía, la didáctica de las ciencias constructivista ha puesto a consideración de la comunidad de enseñanza de las ciencias diversas estrategias de aula. Entre ellas, una muy difundida es la que Roger Osborne presentó en los años '80 con el nombre de *modelo generativo*.

En su versión más sencilla, el modelo generativo se organiza como una secuencia de cuatro *fases* (Osborne y Freyberg, 1995; Sanmartí, 2000), que aquí enumeramos especificándolas para la formación epistemológica del profesorado de ciencias:

1. *Elicitación de las ideas epistemológicas del profesorado*. Existen diversas aproximaciones a las ideas de los profesores acerca de la naturaleza de la ciencia. Una que está particularmente en boga son los cuestionarios formados por afirmaciones sobre la ciencia que han de ser respondidas mediante una escala Likert (esto es, una escala que manifiesta el grado de acuerdo con cada afirmación).
2. *Presentación del material teórico (modelos epistemológicos)*. La segunda fase consiste en la presentación de los contenidos epistemológicos a enseñar, prescritos por el currículo de formación del profesorado de ciencias. Los contenidos, inspirándonos en el modelo cognitivo de ciencia, no se reducen a una enumeración de conceptos, sino que se organizan en modelos teóricos.
3. *Estructuración y aplicación*. Los profesores de ciencias han de aplicar los modelos epistemológicos a diversas situaciones de relevancia para su propia práctica profesional. Las aplicaciones generadas permiten explorar con mayor profundidad estos modelos y encontrar para ellos *hechos paradigmáticos* (Izquierdo, 1999) dentro de las ciencias y su enseñanza.
4. *Síntesis y evaluación*. Esta cuarta fase tiene un carácter marcadamente metacognitivo. Se pretende que los profesores hagan una valoración crítica de lo que han aprendido y sean capaces de autorregular futuros aprendizajes epistemológicos. Es también

en esta fase donde se establecen relaciones entre la formación epistemológica y los conocimientos disciplinares y didácticos del profesorado de ciencias.

Ahora bien, la aplicación directa de este esquema de trabajo encuentra variadas dificultades, tales como el tiempo y los recursos disponibles, la persistencia de las ideas previas, o la necesidad de atención a la diversidad. Una dificultad particularmente acuciante es la que se genera por el alto nivel de abstracción y complejidad de los contenidos epistemológicos; esto hace que sea difícil presentarlos directamente, incluso si se los relaciona con contenidos disciplinares muy conocidos. Es por ello que hemos intentado enriquecer la fase de introducción de los modelos teóricos a través de una estrategia mediadora de carácter analógico.

En la didáctica de las ciencias hay disponibles numerosas propuestas que sugieren el uso de la *analogía* como un poderoso mecanismo cognitivo y retórico (Duit, 1991; Greca y Moreira, 1998; Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001). La analogía cumple el papel de una mediación lingüística entre un campo semántico conocido (*fuentes*) y otro nuevo por explorar (*blanco*), con lo cual permite un afianzamiento más significativo de los aprendizajes.

Durante nuestro trabajo de formación epistemológica del profesorado de ciencias, hemos ensayado variados usos de la analogía para hacer frente a las dificultades intrínsecas del contenido metateórico. Hemos utilizado narraciones, films y cómics como soporte para los contenidos fuente, generalmente extraídos de la vida cotidiana o formulados como un episodio de ficción. Sobre esta fuente, a la que llamamos *episodio*, hemos anclado los contenidos blanco, que son los tópicos epistemológicos seleccionados para enseñar a los profesores.

A fin de dar cabida a nuestro uso instrumental de la analogía, proponemos desglosar la segunda fase del modelo generativo en tres momentos:

- 2a. Presentación de un *modelo mediador didáctico* (Gómez y Sanmartí, 2001) de carácter analógico, instrumentado a través del episodio.
- 2b. Introducción de los contenidos epistemológicos blanco por comparación con el episodio.
- 2c. Establecimiento *explícito* de la analogía entre blanco y fuente. Se trata de ser lo más detallado posible en la verbalización de las similitudes entre ambos campos.

Hablamos entonces de un modelo generativo expandido, en el cual, tal como se intenta mostrar en los ejemplos de la siguiente sección, la analogía ocupa el centro de la actividad didáctica con el profesorado de ciencias.

Tres actividades para enseñar epistemología a los profesores de ciencias

En esta sección reseñamos brevemente tres actividades didácticas que hemos diseñado durante nuestra labor de educación epistemológica de profesores de ciencias en formación y en activo. Las actividades recogen las diferentes ideas teóricas que hemos enunciado más arriba y se apoyan fuertemente en el uso de una estrategia analógica. En este sentido, podrían funcionar como ejemplos paradigmáticos dirigidos a los formadores del profesorado de ciencias.

Las actividades que hemos elegido para este artículo están asociadas a la enseñanza de sendos tópicos de la epistemología considerados fundamentales por los profesionales de esa disciplina y también por los didactas de las ciencias. En particular, nos interesa que las ideas epistemológicas seleccionadas sean potentes en dos sentidos: tanto por su valor *intrínseco* para pensar sobre la ciencia, y de este modo enriquecer la comprensión que los profesores de ciencias tienen de sus disciplinas de especialidad, como por su valor *instrumental* para enriquecer la enseñanza de las ciencias y ayudar a superar obstáculos de aprendizaje.

Las tres actividades que describimos tienen una estructura similar, organizada en dos *campos* y dos *planos*. El *campo fuente* se organiza alrededor del episodio. Al *campo blanco* pertenece el modelo teórico de la epistemología que se quiere enseñar. En el *plano concreto*, se exploran las ideas en torno a una situación específica (esto corresponde a la fase de aplicación). En el *plano abstracto*, esas ideas se generalizan (esto corresponde a la fase de síntesis). Para cada una de las actividades descritas, especificaremos cuáles son sus campos y planos.

La dicotomía descubrir versus inventar

La primera de nuestras actividades revisa una distinción clásica de la epistemología: la que estableció Hans Reichenbach en los años '20 entre el *contexto de descubrimiento* y el *contexto de justificación* del conocimiento científico. Relacionadas con esta distinción, están las ideas de descubrir e inventar, que a menudo se tratan de forma más bien estereotipada.

Nos parece importante que los profesores de ciencias reflexionen críticamente sobre el proceso de aceptación de los descubrimientos por parte de la comunidad científica. Hemos seleccionado para esta reflexión un modelo *racionalista moderado*, que se aleja tanto de la rigidez normativa del positivismo como de la falta de robustez del relativismo (Adúriz-Bravo, 2001b).

Trabajamos sobre el film francés *Les palmes de Monsieur Schutz*, dirigido por Claude Pinoteau en 1997. Hemos seleccionado varios fragmentos breves de la cinta, en los cuales se van pintando diversas instancias del descubrimiento del radio por parte del matrimonio Curie. Estos fragmentos construyen el campo fuente; el campo blanco es la propia historia de la ciencia.

En esta primera actividad, la trama del film funciona como modelo mediador didáctico para pensar sobre la ciencia en los dos planos: en el plano concreto, discutimos en qué momento se puede considerar que se ha producido el descubrimiento del radio; en el plano

abstracto, analizamos algunas características internas y externas del proceso de innovación científica.

Aunque no desarrollaremos aquí esta idea, queremos marcar que esta misma película puede ser utilizada también para tratar otro tópico epistemológico importante, el de la *hagiografía*. Nos referimos a la creación de “ídolos” científicos, con la consiguiente distorsión de la historia de la ciencia. En este sentido, la figura de Marie Curie ha sido objeto de muy diversos tratamientos, laudatorios o degradantes. Nosotros hemos explorado la comparación entre la figura de la científica que se construye a lo largo del film y la creada por Ève Curie en la biografía de su madre. Este aspecto de nuestra actividad nos sirve también para una discusión crítica sobre el rol de la mujer en la ciencia.

Paralelo entre la investigación detectivesca y la investigación científica

La segunda actividad se concentra en algunos aspectos formales y pragmáticos de la explicación científica. La importancia del proceso de explicación en las ciencias ha sido reconocida en la epistemología desde los tiempos de Aristóteles, como un aspecto íntimamente ligado a los de método científico y razonamiento científico (Gaeta *et al.*, 1996). En este sentido, el modelo de explicación científica que los profesores y estudiantes de ciencias mantienen dice mucho de su concepción general de la ciencia como actividad. Por su parte, la didáctica de las ciencias también ha puesto énfasis en la explicación científica en el aula (Duschl, 1997), dentro de una concepción general del aprendizaje de las ciencias como modelización.

Nosotros trabajamos con la *Muerte en el Nilo*, escrita por Agatha Christie en 1937; usamos la novela original y su versión fílmica. La trama de la novela policial sirve como modelo mediador didáctico para anclar algunas ideas en el campo fuente. A partir de allí se establece una analogía entre la investigación detectivesca y la científica, ya que ambas pueden ser entendidas como una *abducción*, es decir,

como una inferencia lógica que subsume los casos particulares en un modelo general (Adúriz-Bravo, 2002).

Dentro del campo blanco, que es el razonamiento científico abductivo, el plano concreto se consigue al examinar la transición entre los modelos atómicos de Thomson y Rutherford, a inicios del siglo XX. Para el plano abstracto trabajamos con elementos provenientes de la lógica formal (Adúriz-Bravo, 2002).

Importancia de las analogías en las ciencias y en la enseñanza de las ciencias

El análisis del discurso científico desde diversas perspectivas, tales como la *gramática*, la *pragmática* y la *retórica*, ha puesto en evidencia la naturaleza intrínsecamente metafórica del lenguaje de las ciencias (Izquierdo, 1999). También se ha mostrado que la enseñanza de las ciencias recurre a las analogías, metáforas y símiles como una de sus estrategias privilegiadas (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001).

Consecuentemente, nuestra tercera actividad propone a los profesores reflexionar sobre el papel que juega la analogía tanto en la investigación científica como en la educación científica. Dada la complejidad del tema, partimos de inspeccionar el rol de la analogía en la vida cotidiana. Usamos para ello la tira cómica *Matías*, del dibujante argentino Sendra (1993).

En uno de los episodios de la tira, que funciona como campo fuente, Matías compara a su madre con un ladrón, por la costumbre que ella tiene de aplicarse máscaras de belleza sobre la cara. Esta similitud inicial le sirve al niño para establecer toda una serie de comparaciones entre ambos. Nosotros utilizamos la tira para analizar lo que se conoce como *analogía mediada*, es decir, una analogía que se establece con el auxilio de un elemento que funciona como puente cognitivo entre los contenidos de la fuente y el blanco.

En un primer momento, se presenta a los profesores la estructura de la analogía mediada, rellena con el contenido de la tira. En un

segundo momento, este esquema formal se traslada, por una parte, a la historia de la ciencia y, por otra, a episodios reales de enseñanza de las ciencias. En ambos casos, hemos trabajado sobre todo con el tema de los *modelos atómicos*. De la historia de la ciencia, hemos recuperado una vez más los modelos del budín de Thomson y el sistema solar de Rutherford. Para la enseñanza de las ciencias, hemos trabajado con transcripciones de clases de secundaria.

Como en el caso de las dos actividades anteriores, destacamos la importancia de realizar una reflexión metacognitiva explícita para enlazar el contenido fuente, la estructura de las comparaciones y los símiles en el lenguaje natural, con el contenido blanco, la analogía como instrumento para generar nuevo conocimiento científico a lo largo de la historia de la ciencia.

Reflexiones finales

En este trabajo hemos intentado esbozar una panorámica general de los asuntos que se discuten hoy en día en torno a la formación epistemológica del profesorado de ciencias. Hay algunos acuerdos en cuanto a la importancia educacional de los contenidos acerca de la naturaleza de la ciencia. Sin embargo, queda mucho por hacer en la implementación didáctica de los contenidos epistemológicos.

Dada la brevedad de la educación epistemológica que reciben los profesores de ciencias durante su formación inicial, interesa ante todo conseguir generar en ellos criterios que les permitan luego autorregular futuros accesos a la epistemología. Hay actualmente disponibles muchas propuestas sobre la naturaleza de la ciencia; los profesores de ciencias deberían ser capaces de valorarlas y adaptarlas a sus necesidades.

Un problema a atender es el de la *transitividad* de la naturaleza de la ciencia. Debido a los actuales lineamientos curriculares de muchos países, los profesores de ciencias tendrán que enseñar ellos mismos un poco de epistemología en sus clases de ciencias en los

diferentes niveles educativos. Sin embargo, somos de la idea de que la formación epistemológica que demos al profesorado de ciencias no ha de limitarse a lo que ellos enseñarán. La epistemología puede cumplir también otros papeles importantes, de carácter cultural e instrumental (Adúriz-Bravo, 2001b).

Otro aspecto que nos parece que debe ser revisado con urgencia es el de la necesidad de actualizar los contenidos epistemológicos que se enseñan a los profesores de ciencias. Modelos como el *método hipotético-deductivo* de Popper o los *paradigmas* de Kuhn, independientemente de su valor para la educación científica, han sido parcialmente superados y pueden ser complementados con modelos más recientes.

Como una última reflexión, querríamos destacar que consideramos que las ideas teóricas y las actividades de clase deberían tender hacia la construcción de un modelo de ciencia *realista y racionalista* (Adúriz-Bravo, 2001b). Creemos que éste es un objetivo insoslayable frente a las fuertes oleadas anticientíficas que atacan la didáctica de las ciencias en los últimos años.

Referencias bibliográficas

- AAAS (1989). *Science for all Americans*. Project 2061. Nueva York: Oxford University Press.
- Adúriz-Bravo, A. (2001a). "A theoretical framework to characterise and assess proposals to teach the philosophy of science in the context of science education". En: Evans, R.; Sørensen, H. y Møller Andersen, A. (eds.), *Bridging research methodology and research aims*, 24-34. Copenhagen: Danmarks Pædagogiske Universitet.
- Adúriz-Bravo, A. (2001b). "Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias". Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Adúriz-Bravo, A. (2002). "Aprender sobre el pensamiento científico en el aula de ciencias: una propuesta para usar novelas policíacas". *Alambique*, 31, 105-111.
- Adúriz-Bravo, A.; Izquierdo, M. y Estany, A. (2001). "A characterisation of practical proposals to teach the philosophy of science to prospective

- science teachers”. En: Valanides, N. (ed.), *Science and technology education: preparing future citizens*, Volumen I, 37-47. Paralimni: University of Cyprus.
- Adúriz-Bravo, A.; Izquierdo, M. y Estany, A.** (en prensa). “Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación”. *Enseñanza de las Ciencias*.
- Adúriz-Bravo, A.; Salazar, I.; Badillo, E.; Mena, N.; Tamayo, O.; Trujillo, J. y Espinet, M.** (2001). “Ideas on the nature of science in prospective teachers for early childhood education”. En: Montané, M. y Cambra, J. (eds.), *Papers of the 25th ATEE Annual Conference*, 313-321. Barcelona: Col.legi Oficial de Doctors i Llicenciats en Filosofia i Lletres i en Ciències de Catalunya.
- Bevilacqua, F.; Giannetto, E. y Matthews, M.** (eds.) (2001). *Science education and culture. The contribution of history and philosophy of science*. Dordrecht: Kluwer.
- Bromme, R.** (1988). “Conocimientos profesionales de los profesores”. *Enseñanza de las Ciencias*, 6, 1: 3-29.
- Duit, R.** (1991). “On the role of analogies and metaphors”. *Science Education*, 75, 6: 649-672.
- Duschl, R.** (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid: Narcea. (edición original en inglés de 1990).
- Gaeta, R.; Gentile, N.; Lucero, S. y Robles, N.** (1996). *Modelos de explicación científica. Problemas epistemológicos de las ciencias naturales y sociales*. Buenos Aires: Eudeba.
- Galagovsky, L. y Adúriz-Bravo, A.** (2001). “Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales”. El concepto de *modelo didáctico analógico*. *Enseñanza de las Ciencias*. 19.2. 231-242.
- Giere, R.** (1992). *La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (edición original en inglés de 1988).
- Gómez, A. y Sanmartí, N.** (2001). “Construcción y comunicación de modelos sobre biodiversidad en niños y niñas de nueve años”. *Enseñanza de las Ciencias*. Número extra VI Congreso, 25-26.
- Greca, I. y Moreira, M.A.** (1998). “Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo”. *Enseñanza de las Ciencias*, 16, 2: 289-303.

- Hills, S.** (ed.) (1992). *The history and philosophy of science in science education*. Kingston: Queen's University.
- Izquierdo, M.** (1999). *Memoria de acceso a la plaza de catedrática*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Izquierdo, 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, M. y Adúriz-Bravo, A.** (en prensa). "Epistemological foundations of school science". *Science & Education*.
- Jiménez Aleixandre, M.P.** (1996). *Dubidar para aprender*. Vigo: Edicions Xerais de Galicia.
- Kolstø, S.D.** (2000). "Consensus projects: Teaching science for citizenship". *International Journal of Science Education*. 22.6. 645-664.
- Matthews, M.** (1994). *Science teaching. The role of history and philosophy of science*. Nueva York: Routledge.
- Mellado, V.; Blanco, L. y Ruiz, C.** (1999). *Aprender a enseñar ciencias experimentales en la formación inicial del profesorado*. Badajoz: Universidad de Extremadura.
- McComas, W.** (ed.) (1998). "The nature of science in science education". *Rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer.
- McComas, W.** (ed.) (en prensa). *Proceedings of the Sixth International History, Philosophy and Science Teaching Conference*. CD-ROM. Denver: IHPSTG.
- Millar, R. y Osborne, J.** (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. Londres: King's College.
- Osborne, R. y Freyberg, P.** (1995). *El aprendizaje de las ciencias. Implicaciones de las "ideas previas" de los alumnos*. Madrid: Narcea (edición original en inglés de 1985).
- Quintanilla, M.** (1999). "El dilema epistemológico y didáctico en el currículo de la enseñanza de las ciencias". ¿Cómo abordarlo en un enfoque CTS? *Pensamiento Educativo*, 25: 299-331.
- Sanmartí, N.** (2000). "El diseño de unidades didácticas". En: Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, 239-266. Alcoy: Marfil.
- Sendra** (1993). *Yo, Matías*. Buenos Aires: Ediciones de la Flor.