AGUSTÍN ADÚRIZ-BRAVO*

APUNTES SOBRE LA FORMACIÓN EPISTEMOLÓGICA DE LOS PROFESORES DE CIENCIAS NATURALES

Resumen

En este trabajo se presentan someramente algunas ideas teóricas para contribuir a transformar la epistemología en un componente curricular de la formación inicial y continuada del profesorado de ciencias naturales. Luego se ejemplifican estas ideas en una actividad didáctica diseñada para acercar a los profesores de ciencias a la noción epistemológica de "carga teórica de la observación".

Palabras clave: *Ciencias naturales, formación del profesorado, componente epistemológica, naturaleza de la ciencia.*

Abstract

In this paper, we briefly present some theoretical ideas to contribute to transforming the philosophy of science into a curriculum component of pre- and in-service science teacher education. These ideas are then exemplified in an instructional activity designed to acquaint science teachers with the philosophical notion of 'theory-ladenness of observation'.

Key words: *Naturals science, teacher education, epistemological component, nature of science.*

Introducción

En la comunidad internacional de investigadores e innovadores en didáctica de las ciencias naturales se ha venido gestando, a lo largo de los últimos veinte años, el convencimiento acerca de que la formación en epistemología, historia de la ciencia y sociología de la ciencia (disciplinas a las que podemos referirnos colectivamente como "metaciencias") debe ser un ingrediente fundamental de la alfabetización científica de los ciudadanos y ciudadanas en el marco de la educación obligatoria (AAAS, 1989; Millar y Osborne, 1998).

En el ámbito académico de la didáctica, se concede hoy en día una importancia similar al aprendizaje de

* Profesor de la Universidad de Buenos Aires, Argentina. *E-mail*: adurizbravo@yahoo.com.ar Texto recibido el 30 de septiembre de 2004 y aprobado el 16 de noviembre de 2004.

los contenidos, procesos y valores científicos, y al aprendizaje *sobre* la propia ciencia, su historia y sus relaciones con la sociedad y la cultura (Matthews, 1994, 2000; Duschl, 1997); estos últimos saberes son conocidos en didáctica con el nombre de *naturaleza de la ciencia* (McComas *et al.*, 1998). En línea con estos consensos teóricos, los currículos de ciencias naturales en muchos países que atraviesan reformas educativas comienzan a incorporar contenidos, estrategias y materiales que favorecen la reflexión de los estudiantes sobre la ciencia (Matthews, 1998).

El reconocimiento de la importancia de llevar la naturaleza de la ciencia al aula genera naturalmente la necesidad de introducir los contenidos metacientíficos también en el currículo de formación inicial y continuada del profesorado de ciencias naturales. Entre otras muchas cosas, el conocimiento de la naturaleza de la ciencia ayuda a los profesores a explicitar, comunicar y estructurar sus ideas metacientíficas (Mellado y Carracedo, 1993) y, consecuentemente, puede derivar en una mejora de su desempeño profesional.

Ahora bien, diversos diagnósticos (Koulaidis y Ogborn, 1989; Aikenhead y Ryan, 1992; Lederman, 1992; Meyling, 1997; Fernández Montoro, 2000; Gwimbi, 2000) han detectado en el profesorado de ciencias naturales ideas sobre la naturaleza de la ciencia que no se corresponden con las que actualmente sostiene la epistemología académica. Estas ideas ni siquiera están completamente adecuadas a modelos formales elaborados durante la primera mitad del siglo XX, como pueden ser los del *positivismo lógico* o el *racionalismo crítico*. Más bien, la naturaleza de la ciencia espontáneamente detentada por los profesores de ciencias es cercana a la del sentido común, es decir, a aquella sostenida por el público no especializado (Pomeroy, 1993). Además, estas ideas alternativas de naturaleza de la ciencia se organizan en sistemas con poca coherencia interna, que presentan ambigüedades y contradicciones (Hodson, 1993). Y por último, tales ideas son a menudo inconsistentes con el pensamiento del profesor acerca de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (Porlán y Rivero, 1998).

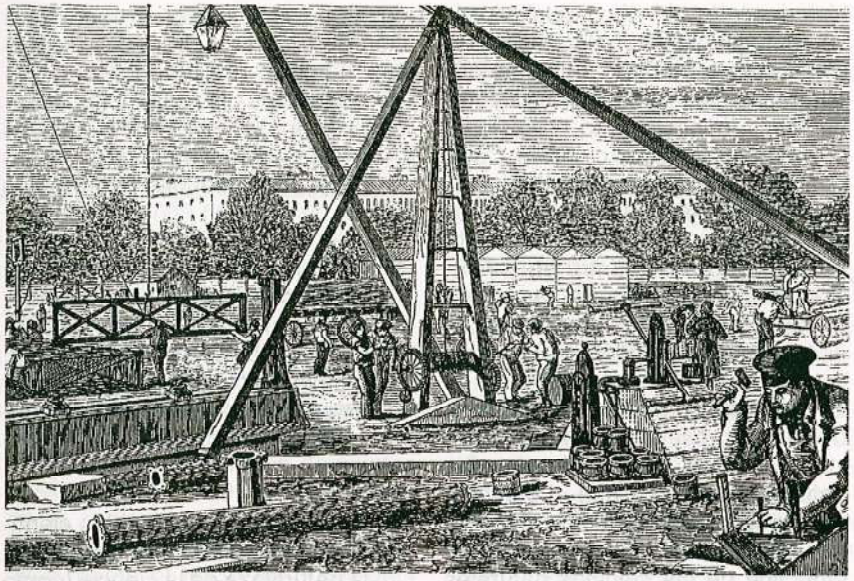
En el contexto de estos diagnósticos negativos, William McComas (1998) señala quince *mitos* acerca de la naturaleza de la ciencia que están arraigados en la práctica del profesorado de ciencias naturales en todo el mundo. Entre ellos, algunos particularmente importantes por sus consecuencias negativas en la imagen de ciencia que se construye en la escuela son los que atañen a la universalidad y rigidez del método científico, la objetividad y superioridad de la ciencia, la validez absoluta del conocimiento científico, el avance de la ciencia por acumulación, el carácter exclusivamente experimental de la ciencia, la neutralidad ética de los descubrimientos e invenciones, y la suposición de que la ciencia representa el mundo real sin mayores mediaciones (realismo ingenuo).

Creemos que para atacar estas ideas empobrecidas y llevar una visión más compleja de la ciencia al currículo de ciencias naturales resulta necesario seleccionar y transponer algunos contenidos de la epistemología e introducirlos en la formación inicial y continuada del profesorado de ciencias, relacionándolos con los propios contenidos científicos y con los de la didáctica de las ciencias naturales. En este trabajo revisamos algunas ideas teóricas que hemos venido proponiendo para enseñar la epistemología a los profesores de ciencias. Nuestra propuesta se apoya fundamentalmente en un *diseño* de los contenidos epistemológicos por enseñar mediante lo que hemos dado en llamar *campos teóricos estructurantes de la epistemología* (Adúriz-Bravo, 2001).

1. La naturaleza de la ciencia como componente del currículo de formación del profesorado de ciencias naturales

Dentro de la didáctica de las ciencias naturales, la preocupación por la enseñanza de la naturaleza de la ciencia ocupó mucho tiempo un lugar marginal, tal cual lo denunciaba Richard Duschl (1985) al hablar de un "desarrollo mutuamente excluyente" de la epistemología y la educación científica. Aunque, como hemos señalado, la reflexión teórica sobre esta cuestión está expandiéndose rápidamente en la literatura especializada bajo la forma de una nueva línea de investigación muy potente, queda aún mucho por hacer en lo que atañe a la generación de propuestas prácticas, tanto para las aulas de secundaria y bachillerato como para la población que nos ocupa, el profesorado de ciencias naturales (Matthews, 1998).

Un problema para acercar la epistemología a los profesores de ciencias proviene de la coexistencia actual de gran cantidad de visiones acerca de la naturaleza de la ciencia, algunas de ellas francamente contradictorias entre sí (Stinner, 1992; Jiménez Aleixandre, 1995; Duschl, 1997). La epistemología es una disciplina activa; su producción académica se organiza en múltiples escuelas de investigación en competencia. Nos parece central, entonces, tener criterios para realizar la *selección* de los contenidos de la naturaleza de la ciencia con más valor para los profesores de ciencias (Izquierdo, 2000); creemos que tal selección ha de ser hecha *desde la didáctica de las ciencias naturales*. La naturaleza de la ciencia como componente curricular no tiene por qué corresponderse con los desarrollos punteros de la epistemología; más bien debería combinar elementos provenientes de distintas escuelas epistemológicas, seleccionados por su coherencia con las *finalidades* de la educación científica que la didác-



tica de las ciencias viene consensuando.

McComas y sus colaboradores (1998) sugieren que la comunidad de didactas de las ciencias naturales dispone actualmente de una visión más o menos homogénea sobre cuáles son los contenidos de la naturaleza de la ciencia que conviene incorporar en la educación obligatoria (entre los cinco y los dieciséis años) y en la formación de los profesores de ciencias. Estos autores caracterizan esta visión consensual a través de catorce afirmaciones, que en buena medida provienen de la llamada *nueva filosofía de la ciencia*, desarrollada en la década de 1960 y representada por los nombres de Thomas Kuhn, Stephen Toulmin e Imre Lakatos.

Entre estas afirmaciones destacan –por su innegable importancia para la enseñanza de las ciencias naturales– las que se refieren a la tentatividad del conocimiento científico, la pluralidad metodológica, la carga teórica de la observación, las relaciones complejas entre ciencia y tecnología, y la ciencia como una empresa histórica y socialmente situada, que evoluciona en el tiempo. Estas ideas suponen en general una ruptura con los problemas clásicos de la epistemología, bien identificados por el positivismo lógico (Estany, 1993). Recordemos que es cerca de esta escuela donde pueden ubicarse las ideas del sentido común sobre la naturaleza de la ciencia que los profesores de ciencias manifiestan al ser encuestados; por tanto, el aprendizaje de la epistemología asume para esta población la forma de un genuino *cambio conceptual*, con todos los desafíos que éste plantea.

Nosotros proponemos llevar la naturaleza de la ciencia a la formación inicial y continuada del profesorado de ciencias naturales por medio de una serie de actividades didácticas cuidadosamente diseñadas, preferiblemente *centradas en contenidos científicos específicos extraídos de la historia de la ciencia* (tal como sugieren Jiménez Aleixandre, 1995 e Izquierdo, 2000). Estas actividades deberían permitir en los profesores la reflexión crítica sobre la ciencia, su desarrollo y su papel en la sociedad, sin exigir el despliegue de modelos teóricos complejos provenientes de los debates académicos de la epistemología, con un valor limitado para su labor en el aula.

2. Qué tener en cuenta para diseñar unidades de naturaleza de la ciencia para los profesores

Lo primero que nos parece esencial a la hora de diseñar una propuesta para enseñar la naturaleza de la ciencia al profesorado de ciencias naturales es preguntarse acerca de las *finalidades* que deseamos que tengan estos contenidos en el desempeño profesional del profesor. Diversos autores (Matthews, 1994; Driver *et al.*, 1996; Duschl, 1997; Izquierdo, 2000) han propuesto un amplio espectro de finalidades; de ellas hemos seleccionado algunas que mencionaremos a continuación, y que a nuestro juicio pueden tener gran relevancia para la formación docente.

En primer lugar, las metaciencias tienen un valor *cultural* intrínseco, análogo al de cualquier otra disciplina considerada como creación intelectual humana. En este sentido, la naturaleza de la ciencia se constituye como un contenido valioso en el currículo de formación del profesorado de ciencias naturales, y debería participar de forma balanceada con respecto al resto de los contenidos: científicos, educacionales y didácticos. Esta afirmación está avalada por las orientaciones actuales del diseño curricular en el área de ciencias naturales en muchos países, que privilegian la *aculturación* científica (el conocimiento acerca del papel de la ciencia en la historia de la humanidad) frente a la sola acumulación de contenidos científicos con un perfil enciclopedista (Matthews, 1998). La finalidad cultural está además relacionada con objetivos tales como el *democrático* y el *moral* (Driver *et al.*, 1996), que son aquellos por los cuales la naturaleza de la ciencia contribuye a la toma de decisiones fundamentadas y críticas sobre el desarrollo científico y tecnológico de las sociedades.

En segundo lugar, la naturaleza de la ciencia tiene un valor *específico*,

en tanto que se trata de una reflexión teórica *de segundo orden* (esto es, por medio de "metamodelos") acerca de la ciencia en sus variados aspectos: sus características y funcionamiento, su construcción, su evolución, su lenguaje, sus relaciones con los fenómenos sociales. Este valor intrínseco de la naturaleza de la ciencia complementa y potencia el de los propios contenidos de ciencias naturales proporcionando una imagen más dinámica, compleja y crítica, y menos dogmática y triunfalista, de la actividad científica. Se considera que tal imagen *humanista* es un saber deseable para el conjunto general de la población, aquellos que no serán científicos pero podrán intervenir activamente en decisiones acerca de la ciencia y la tecnología; por tanto, ella es también insoslayable en la formación de los profesores de ciencias.

Por último, la naturaleza de la ciencia tiene también un valor *instrumental*, como herramienta facilitadora. Diversos autores han mostrado que las metaciencias pueden contribuir a una mejor comprensión, aplicación y transferencia de los propios contenidos de ciencias naturales, ayudando a los profesores de ciencias en el diseño y la consecución de la enseñanza, en el desarrollo curricular, y en la comprensión y utilización en el aula de modelos didácticos actuales, tales como aquellos englobados bajo el rótulo genérico de *constructivismo* (Driver *et al.*, 1996; Duschl, 1997; Meyling, 1997; Monk y Osborne, 1997; Izquierdo, 1999b).

Con estas finalidades en mente, nos interesa centrarnos en la cuestión de cómo integrar la naturaleza de la ciencia en la formación del profesorado de ciencias naturales. McComas y otros (1998) proponen distintos *contextos* en los cuales ella puede introducirse. Podemos incluir los contenidos metacientíficos en cursos de ciencias naturales, en cursos de didáctica de las ciencias o en cursos específicos de epistemología e historia de la ciencia. Resulta conveniente enseñar la naturaleza de la ciencia en todos los contextos anteriores, potenciando así su contribución al conocimiento profesional del futuro profesor de ciencias. Cada contexto tomaría transposiciones específicas del contenido metacientífico adecuadas a distintos objetivos, convergentes entre sí, y relacionadas de diversas formas con el contenido científico, el pedagógico, el curricular y el didáctico.

Sin embargo, dadas las limitaciones de tiempo presentes en la formación inicial del profesorado de ciencias naturales, creemos que el contexto más adecuado para introducir la naturaleza de la ciencia es el de la didáctica de las ciencias naturales (Jiménez Aleixandre, 1995; Izquierdo, 1999b), pues esta disciplina permitiría a la naturaleza de la ciencia funcionar como reflexión *metacognitiva* sobre los propios contenidos científicos, su enseñanza y su aprendizaje (López Rupérez, 1990). Con esta reflexión, a su vez, se podrían generar propuestas didácticas exitosas que estén metacientíficamente fundamentadas (Izquierdo, 1999a; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003).

Para diseñar unidades de naturaleza de la ciencia, podemos pensar en distintos formatos y estrategias, tales como clases magistrales, talleres, trabajos en pequeños grupos, prácticas de laboratorio, investigaciones guiadas, debates, dramatizaciones, monografías, modelos analógicos, lecturas, incidentes críticos (Adúriz-Bravo, 2001).

3. ¿Qué naturaleza de la ciencia enseñar a los profesores de ciencias naturales?

Considerar la cuestión de qué naturaleza de la ciencia enseñar a los profesores genera la necesidad de una serie de criterios teóricos fuertes para la selección de contenidos (ideas, modelos, problemas) de la epistemología y para la estructuración de ellos en actividades didácticas. También resulta necesario elegir las fuentes utilizadas y los materiales de apoyo. Podemos pensar las propuestas de enseñanza de la naturaleza de la ciencia en términos de:

1) Su *relación* con las disciplinas científicas: las propuestas pueden estar ligadas a una disciplina científica en particular (física, química, biología, geología) o ser inespecíficas, aplicables al conjunto de las ciencias naturales; y

2) Su *anclaje* en contenidos científicos específicos: hay asuntos de la naturaleza de la ciencia (como el método hipotético-deductivo, el debate entre realismo e instrumentalismo, la explicación científica, o la dinámica de la ciencia) que no están anclados en los contenidos de una u otra disciplina, sino que son aplicables al análisis de cualquier episodio científico; otros temas, en cambio, resultan de cuestiones que se plantean con respecto a conceptos, términos y modelos particulares, como puede ser el caso del análisis del estatus epistemológico de la teoría de la evolución darwiniana.

Determinar qué naturaleza de la ciencia enseñar a los profesores de ciencias naturales implica, desde nuestro marco teórico, seleccionar las escuelas de la epistemología y los modelos o cuestiones teóricas que consideramos más valiosos. A continuación presentamos un análisis de la epistemología del siglo XX que reconoce en ella tres *épocas* y siete *campos teóricos estructurantes* (Adúriz-Bravo, 2001). La combinación de estas dos dimensiones, que hemos llamado *matriz de épocas y campos*, puede proveer una "radiografía" teórica de la epistemología académica que sirva de ayuda para transponerla en propuestas didácticas ajustadas a la formación del profesorado de ciencias.

Las épocas de la epistemología

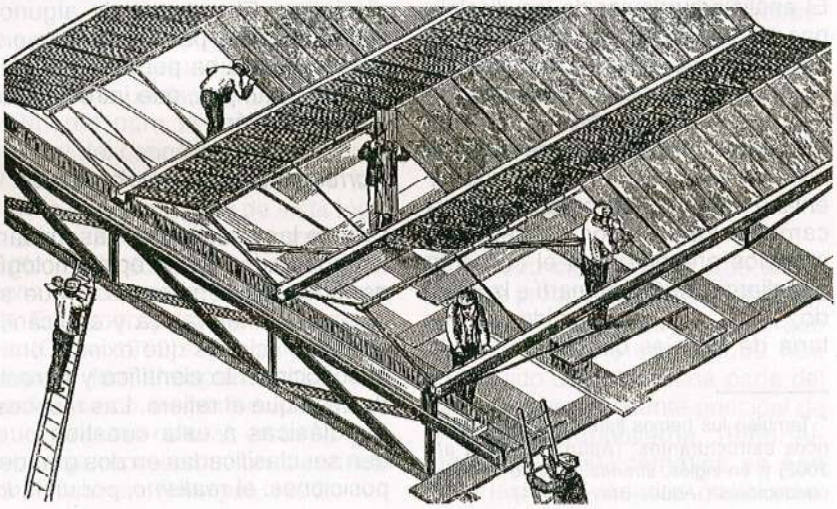
La enseñanza de la naturaleza de la ciencia de una manera más o menos formal requiere una selección explícita de aquellos autores y escuelas epistemológicas que se consideran más pertinentes para la formación del profesorado de ciencias naturales. Aunque la reflexión teórica acerca de la ciencia es tan antigua como la ciencia misma, no es sino desde inicios del siglo XX que se constituye como disciplina académica independiente con un estatus epistemológico propio y un cuerpo de profesionales dedicados a ella (Estany, 1990, 1993). Por tanto, la conformación del célebre Círculo de Viena en los años veinte, que marca el inicio de la escuela llamada *positivismo lógico*, puede ser considerada un comienzo coherente para la selección de los contenidos de naturaleza de la ciencia que enseñemos a nuestros profesores de ciencias naturales.

Partiendo de ese momento de institucionalización de la epistemología, las diversas escuelas de esta disciplina en el siglo XX podrían ser ubicadas en tres grandes épocas, que desarrollamos brevemente a continuación. Nuestra periodización (Adúriz-Bravo, 1999) tiene el interés de que las épocas se van solapando en el tiempo; queremos con ello dejar en claro que las diferentes escuelas epistemológicas perviven y coexisten, a modo de tradiciones de investigación en competencia conceptual.

El positivismo lógico y la concepción heredada

Esta primera época comenzaría, como se dijo, con la constitución del Círculo de Viena, y se extendería hasta la decadencia de la concepción heredada y de la filosofía analítica, continuadoras de aquél en el ámbito anglosajón. La "defunción" (Suppe, 2000) de estas visiones sobre la ciencia sucedería a consecuencia de la aparición del libro de Thomas Kuhn, *La estructura de las revoluciones científicas*, en 1962. Esta época está caracterizada por un énfasis en el aspecto *metodológico* de las ciencias (Echeverría, 1999) y un enfoque esencialmente sintáctico (esto es, lógico-lingüístico) para el análisis de la naturaleza de la ciencia.

La primera época de la epistemología tiene un gran interés para la didáctica de las ciencias naturales debido a que el positivismo lógico constituye un modelo idóneo para explicar las ideas del sentido común acerca de la naturaleza de la ciencia (Chalmers, 1984). Consecuentemente, sus desarrollos teóricos pueden contribuir a comprender, dentro de la investigación didáctica, las concepciones epistemológicas alternativas del profesorado de ciencias, y servir como puerta de acceso para que los profesores se acerquen a las cuestiones más fundamentales de la epistemología. A esto se suma el hecho de que una comprensión profunda de los desarrollos teóricos de la epistemología posteriores a la segunda guerra mundial tiene como condición necesaria el manejo de ciertas ideas, términos y problemas básicos inspeccionados con gran detalle por el positivismo lógico y sus seguidores (Matthews, 1998).



El racionalismo crítico y la nueva filosofía de la ciencia

Esta segunda época se extendería desde las primeras críticas hechas al Círculo de Viena en Francia (Bachelard, 1938) y Alemania (Popper, 1934/1967), hasta el "traspaso" del enfoque historicista iniciado por Kuhn hacia la sociología de la ciencia más radicalizada, a fines de los años ochenta. Esta época estuvo marcada inicialmente por un interés en refutar la concepción positivista lógica, llevando el análisis a nuevos campos como el externalismo, y planteando cuestiones no exploradas por los acercamientos clásicos (Estany, 1993). El mecanismo de renovación propugnado por las corrientes de la segunda época se apoya en el uso de la historia de la ciencia como fuente de datos empíricos con los cuales evaluar los modelos epistemológicos, especialmente los referidos a la llamada *dinámica científica* (Estany, 1990).

Conviene destacar que la mayor parte de la naturaleza de la ciencia que se utiliza actualmente en la didáctica de las ciencias naturales, tanto en enseñanza como en investigación, proviene de esta segunda época (Adúriz-Bravo, 1999). Los modelos *revolucionistas* de cambio científico y el *falsacionismo* de Popper tienen una gran influencia en la investigación didáctica, en el de-

sarrollo curricular de muchos países y en la práctica real de los profesores de ciencias.

El posmodernismo y las visiones contemporáneas

La tercera época está caracterizada por un auge de concepciones *sociologistas* de la naturaleza de la ciencia, con una fuerte carga *relativista* (antirrealista y antirracionalista); ejemplo paradigmático de estas visiones es el polémico trabajo de Paul Feyerabend *Contra el método*, publicado en 1970. Los modelos epistemológicos que englobamos un tanto vagamente bajo el paraguas del *posmodernismo* tienen en común su ataque frontal a las concepciones clásicas de *racionalismo* y *realismo*; los autores posmodernos cuestionan la potencia de la ciencia para intervenir sobre el mundo.

Desmarcándose de la línea anterior se consolidan en los últimos veinte años una gran cantidad de acercamientos novedosos a la epistemología (escuelas estructuralista, semántica, cognitiva, axiológica, tecnocientífica, humanista, entre muchas otras); estas visiones contemporáneas recuperan cuestiones clave de la epistemología clásica, tales como la relación entre realidad y predicación, o el problema de la reconstrucción racional del conocimiento científico, pero las abordan en muchos casos desde una perspectiva *semántica*, centrada en el concepto de *modelo* (Estany, 1993). Como señala Mercè Izquierdo (1999a, 2000), muchas de estas ideas son de gran riqueza para la didáctica de las ciencias naturales, debido a las relaciones que establecen entre la epistemología, la psicología cognitiva, la historia de la ciencia, la lingüística y la pedagogía.

Los campos teóricos estructurantes de la epistemología

El núcleo de nuestra propuesta para seleccionar los contenidos de la naturaleza de la ciencia que enseñemos a los profesores de ciencias es una técnica de análisis de contenidos, el sistema de los llamados *campos teóricos estructurantes**, que pretende identificar los modelos epistemológicos *irreducibles* y sus ejemplos paradigmáticos. Esta propuesta sigue la tónica general, ya esbozada por otros muchos autores (Estany, 1993; Mellado y Carracedo, 1993; McComas, 1998; Izquierdo, 1999b; Monk y Dillon, 2000), de identificar *ideas clave* de la epistemología con el fin de enseñarlas a los profesores de ciencias. Sin embargo, nuestro enfoque difiere de otros en el hecho de que examina la estructura profunda que toman estas ideas dentro de la disciplina académica.

El análisis curricular de las disciplinas científicas ha encontrado en el constructo de *idea* o *concepto estructurante* una herramienta de utilidad. Las ideas estructurantes serían conceptos disciplinares de altísimo nivel de abstracción, inclusividad y enlace, capaces de organizar teóricamente los distintos conceptos y modelos presentes en el currículo (Gagliardi, 1986; Sanmartí e Izquierdo, 1997). En este sentido, se trataría de los ejes directores para la organización curricular de un área específica de conocimiento. Para Mercè Izquierdo (1999b), esta estructuración dejaría al descubierto los modelos irreducibles de las disciplinas.

En cualquier disciplina científica madura, las ideas estructurantes son abundantes, y aparecen organizadas en conjuntos densamente ligados que constituyen áreas temáticas, enfoques, cuestiones o "aspectos" de la disciplina. Estos aspectos corresponden a problemas clásicos que son los que recorren la disciplina desde su inicio formalizado. Llamamos *campos teóricos estructurantes* de la epistemología a los conjuntos densamente ligados de ideas que otorgan identidad a esta disciplina. El examen de algunos textos clásicos para enseñar epistemología nos ha permitido identificar siete campos, que introducimos a continuación.

Correspondencia y racionalidad

Una de las cuestiones más fundantes abordadas por la epistemología de todos los tiempos es la que se refiere a la naturaleza y al alcance de las relaciones que existen entre el conocimiento científico y la realidad a la que él refiere. Las respuestas clásicas a esta cuestión pueden ser clasificadas en dos grandes posiciones: el *realismo*, por un lado,

* También los hemos llamado "criterios teóricos estructurantes" (Adúriz-Bravo *et al.*, 2002) y, en inglés, *strands* (a modo de "hilos conductores"; Adúriz-Bravo, 2004).

y las posturas antirrealistas opuestas a él, entre las cuales se destaca, por su difusión entre muchos pensadores, el *instrumentalismo.*

Las visiones realistas (más o menos extremas) plantean alguna forma del principio de *correspondencia*, que establece enlaces de identificación entre los términos científicos y las entidades del mundo natural. La postura instrumentalista, en cambio, supone que las entidades teóricas son herramientas formales para organizar el mundo fenomenológico, y que por tanto no necesariamente tienen contrapartida en la realidad ontológica (Estany, 1993).

El concepto de *racionalidad*, por su parte, también ha admitido análisis encontrados. El enfoque *racionalista* plantea una idea *normativa* de racionalidad anclada en la lógica del pensamiento hipotético-deductivo; esta idea se utiliza luego como criterio para evaluar el desarrollo de las disciplinas científicas. Entre los enfoques que no son racionalistas extremos destaca el que trabaja con el concepto de racionalidad *moderada*, *instrumental* o *hipotética*; este enfoque supone que la empresa científica es racional en tanto que alcanza una alta coherencia instrumental entre los fines que persigue y los medios de los que se vale para alcanzarlos (Giere, 1992).

Representación y lenguajes

Las escuelas epistemológicas clásicas seleccionaron la *teoría científica* como la unidad de análisis más pertinente para la reconstrucción racional del conocimiento científico. El estudio de la estructura de las teorías desde el punto de vista lógico y lingüístico ha sido el gran proyecto intelectual de los epistemólogos de la primera mitad del siglo XX. Esta *concepción basada en teorías* (Giere, 1992) se ha ocupado del lenguaje formal especializado, entendido como un perfeccionamiento del lenguaje natural, en tanto que forma de representación científica por excelencia (Hempel, 1973).

En las últimas décadas, ha emergido y se ha consolidado un campo interdisciplinar de estudios conocido como *ciencia cognitiva*, aplicado al análisis de la ciencia y de su comunicación y enseñanza (Nersessian, 1992; Izquierdo, 1999a). El interés central de esta visión teórica es la consideración de los diversos mecanismos de representación del mundo de los que dispone el ser humano; en particular, de los *modelos científicos*. En la epistemología ha incidido este "giro cognitivo" con la aparición de la llamada *concepción basada en modelos* para explicar la estructura y evolución de la ciencia (Giere, 1992, 1999). Dicha concepción se ha transferido a la didáctica de las ciencias naturales, y está dando lugar a ideas para diseñar el currículo de ciencias (Izquierdo, 1999a, 2000; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003).

Ahora bien, tanto las teorías como los modelos y cualesquiera otras representaciones científicas se expresan y comunican por medio de diversos lenguajes y en diversos *registros semióticos* (lenguaje científico formal, lenguaje simbólico, lenguaje computacional, fórmulas, gráficas, tablas, analogías, imágenes). La concepción clásica analizaba el lenguaje científico escrito en términos de sus conceptos constituyentes y de las relaciones entre ellos. Las visiones actuales, desde una perspectiva más cercana a las de la pragmática y la retórica, recuperan el valor de la *abducción*, la *analogía* y la *argumentación* como mecanismos de construcción de sentido en la ciencia (Gaeta *et al.*, 1996; Izquierdo, 1999b).

Intervención y metodología

El *método científico* ha sido siempre una preocupación central de los epistemólogos, hasta el punto que los modelos metodológicos han constituido durante buena parte del siglo XX la componente principal de la disciplina (Echeverría, 1999). Alrededor de esta temática se han dado las más variadas posiciones. Hay quienes consideran que existe un único método científico, entendido como una secuencia lineal de pasos para generar o validar conocimiento. Frente a esta visión de corte neopositivista, se han propuesto diversas variantes más o menos relativistas, que van desde la pluralidad metodológica (en la visión "secesionista": Estany, 1993) hasta la ausencia total de método científico establecido, en algunos autores posmodernos.

Los debates alrededor de la metodología científica ponen en el centro de la atención de la epistemología la cuestión de la *intervención* que la ciencia hace sobre el mundo por medio de modelos, lenguajes y acciones. El acercamiento clásico a esta cuestión separó tajantemente las dimensiones teórica y experimental de la ciencia. Algunas de las visiones actuales más sugerentes, como por ejemplo la de Ian Hacking (1983), rescatan la componente de *transformación* activa del mundo que tienen los propios modelos teóricos y proporcionan una visión sistémica de la ciencia en la cual interactúan objetivos, valores, teorías y métodos.

Contextos y valores

Una distinción tradicional en la epistemología es la que se estableció tempranamente entre el contexto de *descubrimiento* y el contexto de *justificación* de la ciencia (Reichenbach, 1938). La epistemología se centró en este último, intentando dilucidar los mecanismos lógicos por los cuales el conocimiento científico es validado e ingresa en el cuerpo de la ciencia establecida. La distinción, además, sirvió para desdibujar un tanto los problemas de evolución histórica del conocimiento científico (Estany, 1990). La "irrupción" del externalismo y de la historia de la ciencia en la epistemología obligó en cierta manera a repensar esta dicotomía y a buscar visiones de síntesis que articularan los niveles de organización cognitivo y social en la actividad científica (Giere, 1992).

Otro contexto de importancia innegable para comprender la naturaleza de la ciencia es el de *aplicación*, que funciona como puente entre la ciencia y la tecnología, permitiendo un estudio más rico e integrado de ambas. Javier Echeverría (1995) añade además a estos contextos un cuarto, el de *educación* o *difusión*, que alcanza centralidad en el propio desarrollo conceptual de la ciencia a lo largo de su historia (Izquierdo, 1999b, 2000).

Evolución y juicio

En sus inicios, la epistemología académica estuvo poco preocupada por el estudio de la evolución de las disciplinas científicas y el problema del cambio teórico (Estany, 1990). Se suponía tácitamente que la visión sincrónica robusta construida por el positivismo lógico podía extenderse en el tiempo por medio de cierto principio de avance por *acumulación*. El trabajo de Thomas Kuhn cuestionó profundamente este enfoque "fijista", introduciendo la hipótesis de que, en determinados momentos de la ciencia, se podían observar evoluciones anómalas y alineales, asimilables a verdaderos cambios "en bloque".

El estudio de la dinámica científica trajo consigo la atención a la naturaleza del *juicio* científico, es decir, a los mecanismos por los cuales los científicos individuales y la comunidad científica en su conjunto seleccionan los modelos teóricos que consideran válidos. Algunos modelos actuales de juicio científico plantean una imagen *evolucionista*, que involucra la selección de las mejores estrategias cognitivas de entre el bagaje intelectual humano (Giere, 1992, 1999).

Demarcación y estructura

Los cinco campos anteriores han provisto una serie de criterios clásicamente utilizados a modo de "navajas de Occam" para separar el conocimiento científico de lo que no es ciencia, tanto en el sentido de disciplinas de otra clase (tecnológicas, artísticas, humanistas), como en el de *pseudociencia*, es decir, de un conocimiento dogmático, acrítico y fraudulento que se enmascara de científico. En este sentido, la preocupación por encontrar características "necesarias y suficientes" para identificar un conocimiento como genuinamente científico ha atravesado siempre la epistemología. Por otra parte, también se ha analizado la *episteme*, o "espacio" de la ciencia, queriendo distinguir las diferentes disciplinas existentes en cada momento de la historia.

Normatividad y recursión

Este último campo se refiere a la reflexión que la propia epistemología hace sobre su rol como metaciencia y su papel en el conjunto de las ciencias. En tanto que disciplina *metadiscursiva* (Estany, 1993; Adúriz-Bravo, 1999), la epistemología plantea modelos teóricos sobre las ciencias, que a su vez pueden servir para intervenir en ellas y guiar su desarrollo. En este sentido, una discusión que actualmente sigue sin saldarse es la que se refiere a la naturaleza de los saberes metacientíficos. Se reconocen dos polos extremos en torno a esta cuestión: la *normatividad* y el *naturalismo*. El enfoque normativo pretende hallar criterios racionales para determinar la cientificidad del conocimiento y dirigir el avance de las ciencias, sobre todo de las más jóvenes. La postura naturalista propugna por *explicar* la ciencia, y acerca metodológicamente la epistemología a las demás disciplinas empíricas o fácticas.

4. Una propuesta didáctica para enseñar la naturaleza de la ciencia al profesorado de ciencias naturales

Actualmente existe en diversos países de Europa y América un movimiento de reforma curricular de los estudios iniciales del profesorado de ciencias naturales que propugna por la introducción de una componente de naturaleza de la ciencia (Matthews, 1998). Paralelamente a este movimiento, asistimos a una intensa producción académica ocupada de estudiar la incorporación de la epistemología en la didáctica de las ciencias naturales y en la educación científica. Ahora bien, la percepción de que esta incorporación es urgente está generando un volumen de trabajos específicos que va en rápido crecimiento. Conforme la epistemología y la didáctica de las ciencias se integran más profundamente, comienzan a estar disponibles propuestas prácticas para enseñar la epistemología a futuros y actuales profesores de ciencias naturales.

En este contexto, nosotros hemos venido trabajando unos diez años en la producción de unidades didácticas para enseñar la naturaleza de la ciencia a los profesores de ciencias (Adúriz-Bravo, 2002, 2004; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2004). En esta sección presentamos una de nuestras unidades, referida a la siguiente idea epistemológica clave: que la explicación científica se realiza en relación con un modelo que "carga" de teoría las intervenciones sobre el mundo.

El tópico epistemológico de la *explicación científica* es central en nuestra propuesta de enseñanza de la naturaleza de la ciencia, puesto que atraviesa todos los campos estructurantes y unifica muchos conceptos epistemológicos complejos (Estany, 1993; Gaeta *et al.*, 1996; Giere, 1999). A través de este tema se pueden comparar las concepciones sintáctica y semántica del razonamiento científico, enfrentando así modelos provenientes de la primera y la tercera épocas de la epistemología.

En la unidad que presentamos, el *realismo pragmático* (Giere, 1992, 1999) es entendido como una relación de *semejanza* entre un modelo teórico y el sistema real que él pretende representar, que queda "car-

gado" de teoría al ser visto desde el modelo. La construcción de un *sistema* que funciona como objeto de estudio científico se apoya en la *selección* de los hechos tenidos como relevantes desde el modelo teórico y en su *estructuración* mediante relaciones inferenciales.

Para enseñar esta idea a los profesores de ciencias, trabajamos sobre el cuento fantástico "La patrona", del escritor galés Roald Dahl (1990). Inicialmente se les pide a los profesores que lean el cuento completo, o éste se les narra en clase; alternativamente, se les puede entregar un apretado resumen (presentado para los lectores en el recuadro 1). Tras tomar contacto con el argumento, los profesores tienen que proponer y fundamentar una respuesta a la pregunta de qué le pasará probablemente a Billy Weaver, el protagonista del cuento. El acuerdo en la respuesta es total; los profesores coinciden en que Billy morirá envenenado y será embalsamado por la ominosa patrona. Esto da pie para reflexionar acerca de los *razonamientos* por los cuales los profesores han llegado a construir esa respuesta.

Recuadro 1. *Resumen del cuento "La patrona" de Roald Dahl (1990) que se entrega como material a los profesores de ciencias en nuestra unidad didáctica.*

A fines de los años '50, el joven Billy Weaver viaja de Londres a Bath, en Inglaterra, para incorporarse a su nuevo empleo. Llegado en tren a Bath al anochecer, pregunta dónde hospedarse; los lugareños le recomiendan una posada. Camino a la posada, Billy pasa frente a una acogedora casita donde se ofrecen alojamiento y desayuno, y decide probar suerte allí. Es recibido por una incongruente patrona, que parece haber estado esperando su llegada.

Tras acomodar a Billy, la patrona le pide que se registre en el libro de huéspedes. Allí él encuentra los nombres de dos jóvenes que se alojaron en la casa años antes: Chris Mulholland y Greg Temple. Estos nombres le resultan a Billy muy familiares; él tiene la impresión de haberlos leído en el periódico, mencionados juntos en la misma noticia policial.

La patrona invita a Billy a bajar a la sala para tomar el té con ella; allí el joven encuentra un perro y un loro embalsamados. Mientras Billy toma su taza de té, la patrona le habla sobre los antiguos huéspedes, alabando su belleza física, así como la del propio Billy. A éste le resultan chocantes tanto el extraño olor a productos químicos que exhala de las manos de la patrona como el notorio sabor a almendras amargas de la infusión. En un momento dado, la patrona le dice al descuido que los antiguos pensionistas todavía están en la casa, juntos en el tercer piso.

La discusión que se genera sobre el cuento permite introducir, como se dijo, un constructo epistemológico famoso: la llamada *carga teórica de la observación*. Para construir un sistema coherente (la respuesta al enigma, debidamente fundamentada) se procede primeramente a seleccionar sólo algunos hechos, cuya relevancia viene dada por un marco teórico identificado previamente, y a descartar todos los demás, asumiendo que no participan del sistema. A su vez, los hechos seleccionados son "leídos" desde la teoría, que los transforma significativamente. Por ejemplo, los profesores de ciencias dicen que el "olor a pasillos de hospital" que emana de la patrona es un hecho relevante, puesto que ayuda al proceso de construir la solución, pero esto sucede sólo si se acepta un determinado modelo teórico ("la anciana dama, aparentemente inofensiva y querible, que resulta ser una psicópata envenenadora"), en el seno del cual ese olor remite a las sustancias usadas para embalsamar.

Una vez recolectados los hechos relevantes a la luz del modelo, es necesario darles una estructura relacional. Esta estructura es *explicativa*, esto es, da cuenta satisfactoriamente de todos esos hechos, con referencia a un cierto marco de suposiciones, que es el final fantástico postulado por los profesores, e *inferencial*, pues reconstruye los huecos faltantes por medio de vínculos generados en procesos de razonamiento. Por ejemplo, los profesores de ciencias formulan aserciones tales como: "*Suponemos que* la patrona embalsama jóvenes guapos *porque* tiene olor a formaldehído en las manos *y porque* sus anteriores huéspedes desaparecieron *y porque* el té tiene sabor a almendras amargas *y porque* ella conoce las técnicas de embalsamamiento".

Sin embargo, y dado que Dahl nunca explicita este modelo en el cuento, la estructura de relaciones entre los hechos reconstruidos es además *hipotética*, vale decir, se necesita una serie de *intervenciones* para contrastar su validez. A modo de ejemplo, los profesores pueden proponer "entrar por la fuerza en el tercer piso *para* encontrar los cuerpos prodigiosamente conservados de Greg y Chris", o "analizar químicamente el contenido de la taza de té de Billy *para* descubrir el ácido prúsico introducido por la maléfica patrona".

Hasta aquí hemos expuesto lo que sería la "fase exploratoria" de la actividad (Sanmartí e Izquierdo, 1997), en la cual hemos trabajado siempre dentro del *campo semántico* de la ficción literaria, en pequeños grupos y en plenario, con discusiones y puestas en común. A partir de este punto, se procede a analogar los procesos cognitivos y lingüísticos identificados en la tarea con los que se usarían típicamente en la metodología científica. Resulta interesante, por ejemplo, utilizar el célebre *caso Semmelweis* –el descubrimiento de la causa de la llamada *fiebre puerperal*–, tal cual lo narra Carl Hempel (1973), para estable-

cer dicha analogía. En el cierre de la actividad, se invita a los profesores a proponer otros episodios famosos de la historia de la ciencia, en los cuales puede hacerse una reflexión epistemológica similar.

5. A modo de conclusión

Los campos teóricos estructurantes que proponemos para entender la epistemología, combinados con nuestra descripción de las épocas que fue atravesando esta disciplina, proporcionan un *mapa* de grandes ideas epistemológicas del siglo XX que permite generar diferentes propuestas para enseñar la naturaleza de la ciencia a los profesores de ciencias naturales. En este sentido, se constituyen en una herramienta de *diseño* de unidades didácticas que puede resultar de utilidad para aquellos colegas que estén implicados en la formación del profesorado

Bibliografía

AAAS. *Science for all Americans. Project 2061.* Nueva York: Oxford University Press, 1989.

ADÚRIZ-BRAVO, A. "Elementos de teoría y de campo para la construcción de un análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias". Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Barcelona, 1999.

———. "Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias". Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona, 2001. [En línea]. http://www.tdx.cesca.es/TDCat-1209102-142933.

———. "Aprender sobre el pensamiento científico en el aula de ciencias: una propuesta para usar novelas policíacas". *Alambique, 31*, 2002, pp.105-111.

———. "Methodology and politics: a proposal to teach the structuring ideas of the philosophy of science through the pendulum". *Science & Education*, 13(7), 2004, pp. 717-731.

———. e IZQUIERDO, M. "The discovery of radium as a 'historical setting' to teach some ideas on the nature of science". En: METZ, D. (ed.). *7th International History, Philosophy, and Science Teaching Conference Proceedings*, Winnipeg: University of Winnipeg pp, 2004, 12-19.

———. e IZQUIERDO, M. y ESTANY, A. "Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación". *Enseñanza de las Ciencias, 20*(3), 2002, pp. 465-476.

AIKENHEAD, G. y RYAN, A. "The development of a new instrument: Views on Science-Technology-Society". *Science Education, 76*(4), 1992, pp. 477-491.

BACHELARD, G. *La formation de l'esprit scientifique.* París: Vrin, 1938.

CHALMERS, A. *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* Madrid: Siglo XXI (2ª edición original en inglés de 1982), 1984.

DAHL, R. "La patrona". En *Relatos de lo inesperado.* Barcelona: Anagrama (edición original en inglés de 1960), 1990.

DRIVER, R., LEACH, J., MILLAR, R. y SCOTT, P. *Young people's images of science.* Bristol: Open University Press, 1996.

DUSCHL, R. "Science education and philosophy of science: Twenty-five years of mutually exclusive development". *School Science and Mathematics, 87*(7), 1985, pp. 541-555.

———. *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo.* Madrid: Narcea (edición original en inglés de 1990), 1997.

ECHEVERRÍA, J. *Filosofía de la ciencia.* Madrid: Akal, 1995.

———. *Introducción a la metodología de la ciencia.* Madrid: Cátedra, 1999.

ESTANY, A. *Modelos de cambio científico.* Barcelona: Crítica, 1990.

———. *Introducción a la filosofía de la ciencia.* Barcelona: Crítica, 1993.

FERNÁNDEZ MONTORO, I. "La transformación de las concepciones docentes espontáneas sobre la ciencia". Tesis doctoral. Universidad de Valencia, 2000.

GAETA, R., GENTILE, N., LUCERO, S. y ROBLES, N. *Modelos de explicación científica. Problemas epistemológicos de las ciencias*

naturales y socialess. Buenos Aires: Eudeba, 1996.

GAGLIARDI, R. "Los conceptos estructurantes en el aprendizaje por investigación". *Enseñanza de las Ciencias, 4*(1), 1986, pp. 30-36.

GIERE, R. *La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo.* México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (edición original en inglés de 1988), 1992.

———. "Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico". *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 1999, pp. 63-70.

GWIMBI, E. "Relationship between science teachers' philosophies of science and their classroom practices: A pilot survey". Tesis de posgrado. King's College de Londres, 2000.

HACKING, I. *Representing and intervening.* Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

HEMPEL, C. *Filosofía de la ciencia natural.* Madrid: Alianza (edición original en inglés de 1966), 1973.

HODSON, D. "Philosophy stance of secondary school science teachers, curriculum experiences and children's understanding of science: Some preliminary findings". *Interchange, 24*(1-2), 1993, pp. 41-52.

IZQUIERDO, M. (ed.). "Aportación de un modelo cognitivo de ciencia a la enseñanza de las ciencias". *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 1999a.

———. *Memoria de acceso a la plaza de catedrática.* Universitat Autònoma de Barcelona, 1999b.

———. "Fundamentos epistemológicos". En: PERALES, F.J. y CAÑAL, P. (comps.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias.* Alcoy: Marfil, 2000, pp.35-64.

———. y ADÚRIZ-BRAVO, A. (2003). "Epistemological foundations of school science". *Science & Education*, 2003. pp.

JIMÉNEZ ALEIZANDRE, M. P. "Comparando teorías. La reflexión sobre la naturaleza de la ciencia en la formación del profesorado". En: BLANCO, L. y MELLADO, V. (coords.). *La formación del profesorado de ciencias y matemáticas en España y Portugal.* Badajoz: Imprenta de la Diputación Provincial, 1995, pp. 267-272.

KOULAIDIS, V. y OGBORN, J. "Science teachers' philosophical assumptions: How well do we understand them?" *International Journal of Science Education*, 1989, pp. *17*, 273-283.

LEDERMAN, N. "Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research". *Journal of Research in Science Teaching, 29*(4), 1992, pp. 331-359.

LÓPEZ RUPEREZ, F. "Epistemología y didáctica de las ciencias. Un análisis de segundo orden". *Enseñanza de las Ciencias, 8*(1), 1990, pp. 65-74.

MATTHEWS, M. *Science teaching. The role of history and philosophy of science.* Nueva York: Routledge, 1994.

———."Foreword and introduction". En: MCCOMAS, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies.* Dordrecht: Kluwer, 1998, pp. XI-XXI.

———. *Time for science education.* Nueva York: Plenum Publishers, 2000.

MCCOMAS, W. "The principal elements of the nature of science: Dispelling the myths".En: McComas, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies.* Dordrecht: Kluwer, 1998, pp. 53-70.

MCCOMAS, W., CLOUGH, M. y ALMAZROA, H. "The role and character of the nature of science in science education". En: MCCOMAS, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies.* Dordrecht: Kluwer, 1998, pp. 3-39.

MELLADO, V. y CARRACEDO, D. "Contribuciones de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las ciencias". *Enseñanza de las Ciencias, 11*(3), 1993, pp. 331-339.

MEYLING, H. "How to change students' conceptions of the epistemology of science". *Science & Education, 6*, 1997, pp. 397-416.

MILLAR, R. y OSBORNE, J. (eds.). *Beyond 2000. Science education for the future.* Londres: King's College, 1998.

MONK, M. y DILLON, J. "The nature of scientific knowledge". En: MONK, M. y OSBORNE, J. (comps.). *Good practice in science teaching. What research has to say*, Buckingham: Open University Press, 2000, pp. 72-87.

MONK, M. y OSBORNE, J. "Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy". *Science Education, 81*(4), 1997, pp. 405-424.

NERSESSIAN, N. "How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science". En: GIERE, R. (ed.). *Cognitive models of science*, Minneapolis: University of Minnesota Press, 1992, pp. 3-44.

POMEROY, D. "Implications of teachers' beliefs about the nature of science: Comparison of the beliefs of scientists, secondary science teachers, and elementary teachers". *Science Education, 77*(3), 1993, pp. 261-278.

POPPER, K. *La lógica de la investigación científica.* Madrid: Tecnos (edición original en alemán de 1934), 1967.

PORLÁN, R. y RIVERO, A. *El conocimiento de los profesores.* Sevilla: Díada, 1998.

REICHENBACH, H. *Experience and prediction.* Chicago: University of Chicago Press, 1938.

SANMARTI, N. e IZQUIERDO, M. "Reflexiones en torno a un modelo de ciencia escolar". *Investigación en la Escuela*, 1997, pp.*32*, 51-62.

STINNER, A. "Science textbooks and science teaching: From logics to evidence". *Science Education, 76*(1), 1992, pp.1-16.

SUPPE, F. "Understanding scientific theories: An assessment of developments, 1969-1998". *Philosophy of Science, 67*, 2000, pp. S112-S115.