

Universitat Autònoma de Barcelona
Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals

**Integración de la epistemología
en la formación
del profesorado de ciencias**

Agustín Adúriz-Bravo

Bellaterra
Octubre de 2001

Universitat Autònoma de Barcelona
Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals
Programa de Doctorat en Didàctica de les Ciències Experimentals

Tesis doctoral

**Integración de la epistemología
en la formación
del profesorado de ciencias**

Autor

Prof. Mag. Agustín Adúriz-Bravo

Directora

Prof. Dra. Mercè Izquierdo i Aymerich

Director del Departament

Prof. Dr. Lluís Bibiloni

en Bellaterra, a octubre de 2001

Tesis doctoral

**Integración de la epistemología
en la formación
del profesorado de ciencias**

por

Agustín Adúriz-Bravo

dirigido por

Mercè Izquierdo i Aymerich

y asesorado por

Richard Duschl

Anna Estany

Lydia Galagovsky

Volumen I

A mis padres,
que me han dado todo

Índice

Presentación.	1
Introducción.	3
Parte I. Fundamentos para una didáctica de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias.	21
Capítulo 1. Objeto del trabajo.	23
1.1. Tesis.	24
1.2. Objetivos.	25
1.3. Antecedentes generales.	29
1.4. Nuestro recorrido en la didáctica de la epistemología.	30
1.5. Elementos teóricos.	33
1.6. Derivaciones.	34
1.7. Publicaciones.	37
Capítulo 2. Las relaciones entre la didáctica de las ciencias y la epistemología.	43
2.1. Terminología.	43
2.1.1. El área HPS y la línea NOS.	46
2.2. Relaciones entre la didáctica de las ciencias y la epistemología.	48
2.2.1. Relaciones entre metadiscursos.	50
2.2.1.1. Relación material.	54
2.2.1.2. Relación instrumental.	56
2.2.1.3. Relación explicativa.	57
2.2.1.4. Relación retórica.	59
2.2.1.5. Relación metateórica.	61
2.2.2. Relaciones mediadas por el objeto.	63
2.3. Nuestra tesis en esta taxonomía.	65

Capítulo 3. Qué epistemología para la formación inicial del profesorado de ciencias.	67
3.1. Meta-análisis de la línea NOS.	70
3.2. Ideas de los profesores de ciencias en formación y en activo acerca de la naturaleza de la ciencia.	72
3.2.1. Concepciones epistemológicas alternativas.	73
3.2.2. El pensamiento epistemológico del profesor.	78
3.2.3. Fundamentación epistemológica de la práctica del profesorado de ciencias.	80
3.2.4. El enfoque HPS.	81
3.3. Necesidad de introducir la dimensión epistemológica en la formación del profesorado de ciencias.	83
3.4. Recuperación de prácticas <i>valiosas</i> para enseñar la epistemología.	92
3.5. Qué epistemología para el profesorado de ciencias.	93
3.5.1. Multiplicidad de los modelos epistemológicos.	96
3.5.2. Actualidad de los modelos epistemológicos.	99
3.5.3. Adaptabilidad de los modelos epistemológicos.	101
3.5.4. Funcionalidad de los modelos epistemológicos.	102
3.5.5. Nuestra propuesta.	103
3.6. ¿Para qué enseñar la epistemología desde la didáctica de las ciencias?	106
Capítulo 4. Dimensiones para el análisis de la componente epistemológica en la formación del profesorado de ciencias.	111
4.1. Dimensiones informativas.	113
4.2. Dimensiones curriculares.	114
4.2.1. Las poblaciones.	114
4.2.2. Los contextos.	118
4.2.3. Las finalidades.	120
4.2.4. Los métodos.	122
4.3. Dimensiones de contenido.	124
4.3.1. Relación con una disciplina.	125
4.3.2. Anclaje en contenidos específicos.	126
4.3.3. Las épocas.	127

4.3.3.1. Propuestas de periodización hechas desde la epistemología.	129
4.3.3.2. Propuestas de periodización hechas desde la didáctica de las ciencias.	131
4.3.3.3. Nuestra propuesta de periodización.	133
4.3.3.3.1. El positivismo lógico y la concepción heredada.	134
4.3.3.3.2. El racionalismo crítico y la nueva filosofía de la ciencia.	137
4.3.3.3.3. El postmodernismo y las visiones contemporáneas.	138
4.3.4. Los campos estructurantes.	139
Capítulo 5. Los campos teóricos estructurantes de la epistemología.	143
5.1. Antecedentes de identificación de conceptos epistemológicos fundamentales.	146
5.1.1. Antecedentes epistemológicos.	147
5.1.2. Antecedentes didácticos.	150
5.2. El concepto de <i>campo teórico estructurante</i> .	152
5.2.1. Fuentes.	155
5.2.1.1. Libros de texto.	155
5.2.1.2. Libros híbridos.	155
5.2.1.3. Libros de investigación.	155
5.3. Los seis campos teóricos estructurantes para la formación del profesorado de ciencias en epistemología.	156
5.3.1. Correspondencia y racionalidad.	157
5.3.1.1. Correspondencia.	157
5.3.1.2. Racionalidad.	165
5.3.1.3. Sustento epistemológico.	166
5.3.1.4. Sustento didáctico.	168
5.3.2. Representación y lenguajes.	170
5.3.2.1. Sustento epistemológico.	176
5.3.2.2. Sustento didáctico.	177
5.3.3. Intervención y método.	177
5.3.3.1. Sustento epistemológico.	179
5.3.3.2. Sustento didáctico.	180
5.3.4. Contextos y valores.	181

5.3.4.1. Sustento epistemológico.	183
5.3.4.2. Sustento didáctico.	183
5.3.5. Evolución y juicio.	184
5.3.5.1. Sustento epistemológico.	185
5.3.5.2. Sustento didáctico.	185
5.3.6. Normatividad y recursión.	186
5.3.6.1. Sustento epistemológico.	188
5.3.6.2. Sustento didáctico.	188
5.4. Una puesta en marcha de los campos teóricos estructurantes.	189
5.5. Algunos comentarios sobre la validez de los campos teóricos estructurantes.	191
5.5.1. Completitud de los campos.	192
5.5.2. Separabilidad de los campos.	193
5.5.3. Significatividad de los campos.	193
5.5.4. Relevancia didáctica de los campos.	194
5.5.5. Validez consecucional.	194
Capítulo 6. Antecedentes de propuestas de enseñanza de la epistemología.	197
6.1. Lineamientos para el análisis de las propuestas.	199
6.2. Análisis composicional de cuatro propuestas paradigmáticas de enseñanza de la epistemología.	203
6.2.1. Primer ejemplo paradigmático: una visión contemporánea de la evolución científica.	204
6.2.1.1. Aportaciones del diálogo a nuestro marco.	209
6.2.2. Segundo ejemplo paradigmático: una visión heredada del método científico.	210
6.2.2.1. Aportaciones del péndulo a nuestro marco.	212
6.2.3. Tercer ejemplo paradigmático: una visión de la nueva filosofía de la ciencia acerca de los valores científicos.	213
6.2.3.1. Aportaciones de los cómics a nuestro marco.	214
6.2.4. Cuarto ejemplo paradigmático: una visión postmoderna acerca de la evolución de las concepciones epistemológicas.	215

6.2.4.1. Aportaciones del protocolo a nuestro marco.	215
6.3. Algunas consideraciones para la didáctica de la epistemología.	216
Capítulo 7. Validación de nuestras propuestas curricular y metacurricular.	219
7.1. Propuesta curricular: integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias.	220
7.2. Propuesta metacurricular: nuestra didáctica de la epistemología.	226
7.3. Validación consecuencial de la periodización.	228
7.4. Validación consecuencial de los campos.	229
7.5. Posibles derivaciones de nuestras ideas.	230
Parte II. Tres aplicaciones para integrar la epistemología en la formación del profesorado de ciencias.	233
Primera aplicación. Ideas epistemológicas clave.	237
Capítulo 8. Cuestiones que plantea la didáctica de la epistemología.	241
8.1. Las grandes cuestiones de la didáctica de la epistemología.	241
8.1.1. Selección.	242
8.1.2. Implementación.	244
8.1.3. Coherencia.	247
8.1.4. Funcionalidad.	250
8.2. Las ideas epistemológicas clave.	251
8.2.1. La ciencia es realista y racionalista (correspondencia y racionalidad).	252
8.2.2. Las ciencias otorgan sentido a la acción a través del lenguaje (representación y lenguajes).	253
8.2.3. La ciencia es una intervención activa sobre el mundo (intervención y método).	256
8.2.4. Las ciencias evolucionan según lo que se enseña sobre ellas en los libros (evolución y juicio).	257
8.2.6. La educación científica es una componente fundamental en el desarrollo de las ciencias (normatividad y recursión).	257

8.2.7. Ejemplos paradigmáticos de enseñanza de las ideas epistemológicas clave.	258
Capítulo 9. Tres actividades de enseñanza de la epistemología a los profesores de ciencias.	261
9.1. Aprender sobre la explicación científica mediante novelas policiales.	261
9.1.1. Patrones de inferencia.	263
9.1.1.1. La inferencia deductiva.	263
9.1.1.2. La inferencia inductiva.	264
9.1.1.3. La inferencia abductiva.	264
9.1.2. La metodología científica.	265
9.1.2.1. El método aristotélico.	265
9.1.2.2. El modelo de explicación nomológico-deductivo (modelo de Hempel-Popper).	266
9.1.2.3. La explicación abductiva y la modelización.	267
9.1.2.3.1. El problema de la abducción.	268
9.1.2.3.2. La abducción como analogía.	269
9.1.2.3.3. La modelización como abducción.	269
9.1.3. La muerte en el Nilo.	270
9.1.3.1. El razonamiento abductivo y las novelas policiales.	271
9.1.3.2. Estructura de la actividad.	271
9.1.4. Reconstrucción racional de un episodio de la historia de la ciencia.	276
9.1.4.1. Contexto histórico.	276
9.1.4.2. Reconstrucción abductiva del modelo de Rutherford.	277
9.2. Los “descubrimientos” del radio.	277
9.2.1. Contexto histórico.	278
9.2.2. Los méritos de Madame Curie.	279
9.2.2.1. Episodios.	279
9.2.2.2. Cuestiones.	279
9.2.2.3. Ideas teóricas.	280
9.2.2.4. Reconstrucción abductiva del descubrimiento del radio.	280
9.3. La analogía en la ciencia.	281

Segunda aplicación. Epistemología de la didáctica de las ciencias.	285
Capítulo 10. Lo que se sabe actualmente acerca de la didáctica de las ciencias.	295
10.1. Análisis epistemológico general de la didáctica de las ciencias.	297
10.1.1. Un modelo de ciencia complejo.	298
10.1.1.1. La ciencia como actividad.	302
10.1.1.1.1. La ciencia como actividad transformadora.	303
10.1.1.1.2. La ciencia como actividad contextualizada.	306
10.1.1.1.3. La ciencia como actividad dirigida.	307
10.1.1.1.4. La ciencia como actividad cognitiva.	309
10.1.1.1.5. La ciencia como actividad valorada.	311
10.1.1.1.6. La ciencia como actividad autocorrectiva.	315
10.1.1.2. La ciencia como conocimiento.	317
10.1.1.2.1. La ciencia como conocimiento explicativo.	318
10.1.1.2.2. La ciencia como conocimiento modelizador.	320
10.1.1.2.3. La ciencia como conocimiento teórico.	322
10.1.1.2.4. La ciencia como conocimiento estructurado.	331
10.1.1.2.5. La ciencia como conocimiento evolutivo.	339
10.1.1.3. La ciencia como discurso.	343
10.1.1.3.1. La ciencia como discurso pragmático.	344
10.1.1.3.2. La ciencia como discurso experimental.	346
10.1.1.3.3. La ciencia como discurso retórico.	350
10.2. Estructura de los modelos teóricos de la didáctica de las ciencias.	352
10.2.1. Análisis de modelos.	356
10.3. La didáctica de las ciencias como disciplina autónoma.	359
10.3.1. Historia de la didáctica de las ciencias.	360
10.3.1.1. Etapa adisciplinar.	362
10.3.1.2. Etapa tecnológica.	363
10.3.1.3. Etapa protodisciplinar.	364
10.3.1.4. Etapa emergente.	365
10.3.1.5. Etapa consolidada.	366
10.3.2. Consideraciones epistemológicas.	368
10.3.3. Algunos rasgos de la didáctica de las ciencias.	372

10.4. El desarrollo del currículo de ciencias	374
como una actividad tecnológica de la didáctica de las ciencias.	
10.4.1. Un modelo <i>dinámico</i> para la didáctica de las ciencias.	379
10.4.1.1. La didáctica de las ciencias	379
como un conjunto de actividades interrelacionadas.	
10.4.1.2. La didáctica de las ciencias y el desarrollo curricular.	382
10.4.2. La componente científica de la didáctica de las ciencias.	383
10.4.2.1. El modelo cognitivo de ciencia	383
en la didáctica de las ciencias.	
10.4.2.2. Un modelo cognitivo para la ciencia escolar.	385
10.4.3. El desarrollo del currículo de ciencias como una tecnología.	386
Capítulo 11. La didáctica de las ciencias como disciplina tecnocientífica.	389
11.1. Un problema epistemológico de la didáctica de las ciencias.	390
11.2. Ejemplos paradigmáticos de innovación	394
en la didáctica de las ciencias.	
11.2.1. El modelo de Kelly.	399
11.2.2. El Proyecto SEPIA.	400
11.2.3. El Proyecto 12-16.	401
11.3. Experiencias de formación del profesorado de ciencias	401
que utilizan la epistemología de la didáctica de las ciencias.	
11.3.1. Relación de las experiencias con nuestra aportación.	403
11.3.2. Consideraciones iniciales.	405
11.3.3. Población de estudiantes (futuros profesores de ciencias)	406
y profesores (formadores del profesorado)	
11.3.3.1. Organización y tareas del equipo docente de la asignatura.	407
11.3.3.2. Organización y tareas de los estudiantes de la asignatura.	407
11.3.4. Logros y dificultades.	408
11.4. A modo de conclusión.	408
11.4.1. Justificación de la aplicación.	409
11.4.2. Indicios de validez.	410
11.4.3. Perspectivas de futuro.	410

Tercera aplicación. Fundamentación epistemológica de la ciencia escolar.	411
Capítulo 12. La ciencia escolar.	423
12.1. La ciencia escolar como objeto epistemológicamente autónomo.	425
12.2. Herramientas teóricas para fundamentar la ciencia escolar.	429
12.2.1. El modelo cognitivo de ciencia.	433
12.3. Un modelo cognitivo para la ciencia escolar.	437
12.3.1. Características de la ciencia escolar.	439
12.3.1.1. Los objetivos: dar sentido al mundo.	439
12.3.1.2. Las representaciones: el pensamiento teórico.	443
12.3.1.3. Los métodos: la experimentación y el lenguaje.	445
12.4. Reconstrucción epistemológica de la ciencia escolar.	446
12.5. Algunas aportaciones al modelo de ciencia escolar.	455
12.5.1. Desarrollo y aporte de elementos.	456
12.6. Cinco elementos del modelo de ciencia escolar.	458
12.6.1. Estructura macrocurricular de la ciencia escolar.	460
12.6.2. Estructura microcurricular de la ciencia escolar.	461
12.6.2.1. El modelo alostérico/generativo/interactivo.	462
12.6.2.2. Un modelo generativo para guiar el trabajo experimental.	463
12.6.2.2.1. La actividad científica escolar en física.	464
12.6.2.2.2. Un modelo generativo de trabajo teórico-práctico.	466
12.6.2.3. Un modelo generativo para la organización macrocurricular.	467
12.6.3. El lenguaje en la ciencia escolar.	468
12.6.4. La analogía en la ciencia escolar.	469
12.6.4.1. Los modelos mentales.	470
12.6.4.2. Los modelos del sentido común y los de la ciencia erudita.	472
12.6.4.3. El modelo didáctico como una <i>representación</i> del modelo científico.	475
12.6.4.4. Taxonomía de modelos didácticos.	476
12.6.4.4.1. Los análogos concretos.	476
12.6.4.4.2. El modelo didáctico analógico.	477
12.6.5. Las metaciencias en la ciencia escolar.	479

12.7. La <i>función modelo teórico</i> en la ciencia escolar.	480
Capítulo 13. El modelo irreductible de ondas y campos.	483
13.1. <i>Ondas y campos</i> como una de las dos perspectivas mecánicas.	484
13.2. Análisis epistemológico de la implementación de la idea de ondas en la física de secundaria.	487
13.2.1. Selección de hechos paradigmáticos.	489
13.2.1.1. Ondas e información.	490
13.2.1.2. Ondas y perfiles.	491
13.2.1.3. Acústica.	492
13.2.2. Selección de modelos didácticos.	493
13.2.3. Selección de modelos teóricos escolares.	495
13.2.4. Selección de actividades de integración para generar el modelo de síntesis.	496
13.3. Pistas para un análisis epistemológico.	497
13.4. La ciencia escolar y sus modelos irreductibles.	498
Capítulo 14. Conclusiones y perspectivas.	501
14.1. Sustentación de la tesis inicial.	501
14.2. Aportaciones organizadas según los objetivos.	504
14.2.1. Revisión.	504
14.2.2. Análisis empírico y metodología.	505
14.2.3. Desarrollo conceptual.	506
14.2.4. Diseño didáctico.	507
14.2.5. Formación del profesorado de ciencias.	507
14.3. Algunos puntos a destacar.	508
14.4. Perspectivas de futuro.	511
Bibliografía.	513
Apéndice 1. Un nuevo instrumento NOS.	597

Apéndice 2. Aplicación de la matriz de épocas y campos al tópico de la explicación científica.	607
Apéndice 3. Ejemplo de aplicación de los campos al análisis curricular.	613
Apéndice 4. Análisis descriptivo de propuestas de enseñanza de la epistemología.	619
Apéndice 5. Publicaciones seleccionadas.	637

Presentación

Esta tesis recoge una serie de ideas y propuestas que son fruto de mi estancia de cuatro años en el Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals de la Universitat Autònoma de Barcelona. Los elementos aquí recogidos se han generado en varios frentes: mi actividad académica propiamente dicha, plasmada en conferencias, publicaciones y presentaciones en congresos; las experiencias de formación epistemológica del profesorado de ciencias en las que he participado; mis estancias como invitado en el King's College de la University of London, bajo la dirección de Richard Duschl; y las discusiones con mis colegas, profesores y estudiantes, en el ámbito del Departament.

En primer lugar, agradezco a mi directora, Mercè Izquierdo i Aymerich, por la generosidad con que me ha brindado su calidad humana e intelectual. Ella se ha ocupado también incansablemente de la “promoción” de mis ideas, tanto en los círculos de la didáctica de las ciencias como entre el profesorado de ciencias; esto es de agradecerse doblemente.

Tres personas han incidido directamente en el desarrollo de las ideas de esta tesis; son Richard Duschl, Anna Estany y Lydia Galagovsky. Es por ello que figuran como “asesores” del trabajo. En el Departament, Neus Sanmartí y Mariona Espinet han estado siempre dispuestas a revisar y discutir mis ideas, por lo que estoy en deuda con ellas. Las siguientes personas, a través de brindarme oportunidades para la difusión de mi trabajo en ámbitos académicos, contribuyeron decisivamente a enriquecerlo: Marina Castells, Sibel Erduran, Diana Hugo, Robin Millar y Rosa Villamañán.

Numerosas personas han colaborado de diversas maneras en este trabajo. Vaya a todas ellas mi agradecimiento:

Andrés Acher, Jean-Pierre Astolfi, Edelmira Badillo, Nora Bahamonde, Paul Black, Leonor Bonan, Digna Couso, Karen Dawkins, Onno de Jong, Lluís del Carmen, Laura Eder, Hans Fischer, Patricia Gallego, Pilar García Rovira, Josep Gascón, Daniel Gil-

Pérez, Adrianna Gómez, Rufina Gutiérrez, Marilar Jiménez Aleixandre, Alicia Kriner, Jordi Lalinde, Laurinda Leite, Isabel Martins, Michael Matthews, William McComas, Elsa Meinardi, Martin Monk, Tiina Nevanpää, Jonathan Osborne, Andrés Perafán, Rafael Porlán, Isabel Salazar, Shirley Simon, Carlos Soto y Rod Watson.

Agradezco también a los profesores y estudiantes del Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals (Universitat Autònoma de Barcelona), del Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (Universidad de Buenos Aires) y de la School of Education (King's College London).

Parte I

Fundamentos para una didáctica de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias

Esta primera parte de la tesis despliega los elementos que, a modo de piezas del rompecabezas, conforman el panorama general de la didáctica de la epistemología. El problema se establece en los siguientes términos: *qué epistemología enseñar a los futuros profesores de ciencias*. Los elementos se introducen siguiendo el recorrido expuesto en la figura I.1.

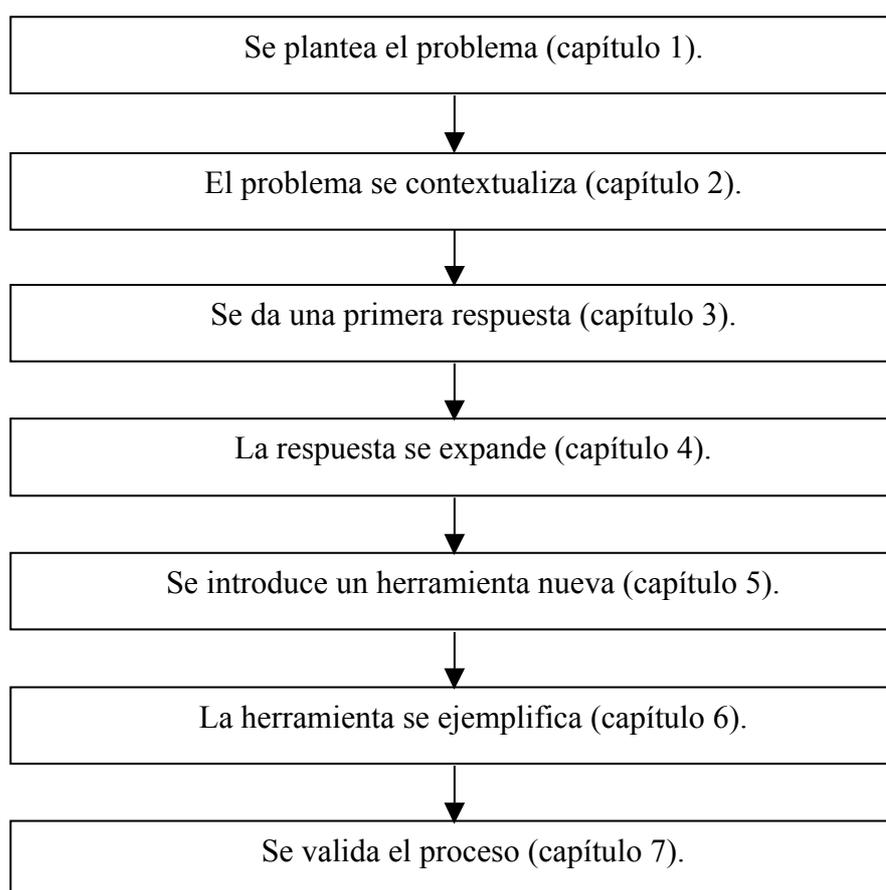


Figura I.1 Recorrido de la primera parte de la tesis.

Las principales aportaciones de esta primera parte estarían situadas en:

1. la sección 2.2, que explica la *taxonomía* que hemos diseñado para clasificar las relaciones entre la didáctica de las ciencias y la epistemología,
2. la sección 3.5, que introduce doce *criterios* para guiar la formación epistemológica del profesorado de ciencias, y
3. la sección 5.3, que contiene el sistema de generación de contenidos epistemológicos para dicha formación. Este sistema es el que llamamos *campos teóricos estructurantes de la epistemología*.

Capítulo 1

Objeto del trabajo

Se resume el capítulo Este capítulo se inicia exponiendo la tesis propiamente dicha de nuestro trabajo, que postula que la didáctica de las ciencias, dada su madurez actual, admite un análisis de sus fundamentos, realizado desde una perspectiva epistemológica.

En la segunda sección, esta tesis se operacionaliza en ocho objetivos específicos, relacionados con la formación del profesorado de ciencias.

La tercera sección clasifica los antecedentes generales de nuestro trabajo; se toma la categoría de *antecedentes* en un sentido muy amplio.

En la cuarta sección, se traza nuestro recorrido en el campo de la didáctica de la epistemología; se exponen nuestros antecedentes de investigación y docencia en este campo, que cubren el período 1993-2001. Enumeramos nuestras contribuciones teóricas y prácticas a la temática, mostrando qué sitio tienen en esta tesis. Esta exposición nos sirve para justificar la elección del problema que se trata en la tesis, inscribiéndolo en una línea de investigación más general que se viene desarrollando en nuestros departamentos¹, y que es considerada prioritaria en los foros internacionales de la didáctica de las ciencias (Duschl, 1994; Matthews, 1998; Adúriz-Bravo y Meinardi, 2000; Perales y Cañal, 2000; Adúriz-Bravo, Izquierdo et al., 2001; Bell et al., 2001).

La quinta sección explicita los elementos que conforman el marco teórico general que subyace a la tesis.

¹ En el CEFIEC: Adúriz-Bravo (1996a, 1996b, 1997a, 2000d); Galagovsky, Adúriz-Bravo y Bonan (1998); Bonan (1999b); Adúriz-Bravo y Meinardi (2000). En el DDMCE: Izquierdo (1990b, 1992, 1994b, 1995b, 1999b, 2000a); Azcárate et al. (1992); Adúriz-Bravo (1999b); Izquierdo, Espinet et al. (1999); Azcárate e Izquierdo (2000); Adúriz-Bravo e Izquierdo

La sexta sección está dedicada a algunas derivaciones de esta tesis, puestas en marcha recientemente junto con varios colegas.

En la séptima sección, se enumeran las publicaciones que se han generado a partir de nuestro trabajo.

1.1 Tesis

La didáctica de las ciencias, como disciplina consolidada, admite un intento de *fundamentación epistemológica* Partimos del supuesto, que suponemos ya contrastado², de que la didáctica de las ciencias es actualmente una disciplina tecnocientífica autónoma y consolidada, de carácter metacientífico (Adúriz-Bravo, 1999/2000, en prensa-a; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001a). Establecemos la tesis de que, dado que es una disciplina suficientemente potente y con sus propios objetivos claros y distintos, admite ser analizada desde un punto de vista teórico, para procurar un reordenamiento de sus desarrollos. Este análisis puede ser llevado a cabo desde la perspectiva de la epistemología, considerada como reflexión sobre las ciencias.

La fundamentación epistemológica de la didáctica de las ciencias permitiría recuperar la práctica profesional del profesorado de ciencias desde un marco conceptual capaz de *justificarla*³, darle impulso, e identificar y transferir sus elementos de calidad.

Nuestro análisis epistemológico de los fundamentos de la didáctica de las ciencias se pone en práctica en tres ámbitos complementarios, que generan sendas propuestas de formación del profesorado de ciencias. Los resultados parciales del análisis constituyen las diversas aportaciones recogidas en la primera parte de la tesis y en los primeros capítulos, más teóricos, de cada aplicación (capítulos 8, 10 y 12). Las propuestas de

(2001a).

² Ver: Martínez Terrades (1998); Adúriz-Bravo (2000e).

³ De allí que llamemos *epistemológica* a la fundamentación.

formación epistemológica dirigidas a los profesores de ciencias conforman la segunda parte de la tesis.

1.2 Objetivos

La tesis se operacionaliza en ocho *objetivos* Exponemos a continuación los objetivos específicos que persigue esta tesis doctoral:

1. *Objetivo de revisión.* Identificar las diferentes cuestiones cruciales, de índole teórica y práctica, que atraviesan hoy en día el campo de la didáctica de la epistemología, con especial referencia a la población del profesorado de ciencias.

Dada la relevancia que está tomando este campo en la didáctica de las ciencias actual, consideramos necesaria la determinación de una *agenda* de cuestiones, para hacer frente a los problemas que plantea la enseñanza de la epistemología, especialmente en el ámbito de la formación del profesorado de ciencias.

2. *Objetivo empírico.* Configurar una base de datos, estructurada de acuerdo con diversos criterios categoriales, de una muestra representativa de las propuestas de enseñanza de diversos tópicos de la epistemología, propuestas que se han producido a lo largo del siglo XX en el ámbito de la didáctica de las ciencias (Adúriz-Bravo, 2000b, en prensa-d).

Esta base de datos complementaría las realizadas por Michael Matthews (1989, 1994b) y Fanny Seroglou (Seroglou y Koumaras, 1999b, 2001) en los campos de las relaciones entre la epistemología y la didáctica de las ciencias y entre la historia de la ciencia y la didáctica de las ciencias, respectivamente.

3. *Objetivo teórico.* Desarrollar y evaluar un aparato conceptual para comprender y –en la medida de lo posible– mejorar distintos aspectos de la enseñanza de la epistemología para diferentes poblaciones, dentro del contexto de la educación científica. El énfasis está puesto, nuevamente, en el profesorado de ciencias en formación.

Este aparato analítico-sintético, que podemos denominar *diseño por épocas y campos* (Adúriz-Bravo, 2000a, en prensa-b; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001f), nos permite, por un lado, evaluar propuestas de enseñanza ya existentes, y por otro, construir nuevas aplicaciones para la formación epistemológica del profesorado de ciencias.

4. *Objetivo didáctico*. Poner a disposición de los lectores de esta tesis (explícitamente, didactas de las ciencias y profesores de ciencias) un panorama –lo más completo y riguroso que nos sea posible– de la epistemología del siglo XX, mostrando sus implicaciones para la educación científica⁴.

Y también un objetivo que complementa el anterior:

5. *Objetivo de formación*. Producir un documento que compile unas actividades de enseñanza de la epistemología explicadas, y que dé a los usuarios (profesores o formadores de profesores de ciencias) criterios para su evaluación y su adaptación a diversas situaciones educativas (Adúriz-Bravo, 1999d, 2000a, 2000b, 2001c, en prensa-b, en prensa-d).

En este sentido, estamos de acuerdo con Avi Hofstein (2001), cuando afirma que los profesores de ciencia

need help in the process of implementing the newly developed material [of didactics of science]. (p. 4)

Se contribuiría por este procedimiento a la creación de patrones transferibles de práctica en el ámbito de la didáctica de la epistemología. La generación de estos patrones, para Woolnough (2001), constituye un objetivo importante de la didáctica de las ciencias.

⁴ Esta exposición de modelos epistemológicos nos es además de utilidad para sustentar teóricamente las tres aplicaciones de la segunda parte de la tesis.

Por otra parte, un objetivo que genera, a la vez, *apoyo retórico y campo semántico*⁵ (Adúriz-Bravo, 1999b; Izquierdo, 1999b) para el modelo teórico que presentamos a fin de cumplir el objetivo 3:

6. *Objetivo de aplicación.* Seleccionar y analizar un conjunto de prácticas de enseñanza de la epistemología consideradas valiosas, con el fin de que sirvan como *ejemplos paradigmáticos* (o *hechos reconstruidos*⁵: Izquierdo, 1999b) de aplicación del modelo que hemos desarrollado (Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany, 2001).

Además, un objetivo de naturaleza curricular, tradicional en las tesis de didáctica de las ciencias:

7. *Objetivo de diseño.* Poner en acción los instrumentos conceptuales y los resultados del análisis empírico en una instancia de diseño de unidades didácticas dirigidas a la formación epistemológica del profesorado de ciencias (Adúriz-Bravo, 1999d, 2000a, 2001a, 2001c, en prensa-c, en revisión-b; Adúriz-Bravo y Bonan, 2001; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001f).

Y por último:

8. *Objetivo de debate.* Argumentar que los tres aspectos epistemológicos parciales seleccionados para nuestras aplicaciones son pertinentes para la formación del profesorado de ciencias.

Los objetivos se encauzan en cinco líneas complementarias: investigación empírica, revisión, desarrollo conceptual, diseño didáctico y formación	Como se puede ver, esta tesis doctoral se propone alcanzar objetivos en cinco <i>campos de acción</i> diferenciados: 1. es un <i>trabajo de investigación didáctica</i> , de cariz meta-analítico, efectuado sobre una base de datos de alrededor de doscientas publicaciones recientes de la didáctica de las ciencias y la epistemología,
---	--

⁵ Ver el capítulo 10 para el significado de estos términos.

2. es una *revisión (review)* del campo de la didáctica de la epistemología, con el fin de identificar los problemas actuales,
3. es un *desarrollo de un aparato de comparación, evaluación, adaptación y generación* de actividades para la enseñanza de la epistemología,
4. es un *diseño de unidades didácticas* dirigidas a enseñar tópicos epistemológicos seleccionados a profesores de ciencias en formación y en activo⁶, y
5. es una *propuesta general para la formación* epistemológica inicial del profesorado de ciencias, sobre todo si los resultados de esta tesis se difunden en la comunidad de didactas de las ciencias⁷.

Queremos difundir criterios y propuestas de enseñanza de la epistemología en la educación científica

El fin último de nuestra aportación es contribuir a la *difusión* de algunas propuestas de formación epistemológica del profesorado de ciencias dentro de la comunidad de didactas de las ciencias, proporcionando al mismo tiempo herramientas conceptuales para reconocer el valor teórico y práctico de estas propuestas (Monk y Osborne, 1997; Abd-el-Khalick y Lederman, 1999; Barth, 1999; Hofstein, 2001). Deseamos de esta forma aportar, en la medida de lo posible, a una fundamentación teórica que sustente transposiciones más rigurosas y operativas de la epistemología con fines didácticos, dirigidas a distintas poblaciones (Aliberas, 1994; Izquierdo, 2000a).

En este sentido, adherimos a la postura que se sostiene actualmente en la didáctica de las ciencias con respecto a los propios contenidos científicos, trasladándola *analógicamente* a la enseñanza de los contenidos epistemológicos: para que la transferencia de propuestas de aula sea efectiva, los profesores de ciencias deben

⁶ Esta es una finalidad *tecnológica*, tradicional en el campo de la didáctica de las ciencias, que consiste en el diseño de materiales curriculares específicos.

⁷ De hecho, las ideas de esta tesis ya han sido puestas en acción en media docena de experiencias de formación inicial y continuada de profesores de ciencias, que se describen en el capítulo 7. Sin embargo, al planificar estas experiencias, decidimos no recoger datos empíricos para evaluar los *resultados* de su implementación, ya que esto habría supuesto un cambio de objetivos para nuestra tesis.

hacerlas propias, desarrollando modelos teóricos que les permitan efectuar un juicio crítico sobre ellas (Monk y Osborne, 1997; Sanmartí e Izquierdo, 1997; Barth, 1999; Hofstein, 2001; Hugo y Adúriz-Bravo, en revisión)⁸.

El marco conceptual que presentamos en esta tesis pretende ser una ayuda para que el profesorado de ciencias construya modelos epistemológicos *autorregulados* (Sanmartí, 2000a, 2000b; García y Angulo, 2001), que puedan enriquecer y mejorar su práctica profesional.

1.3 Antecedentes generales

Tomamos como antecedentes tres líneas de la didáctica de las ciencias

En términos muy amplios, podemos considerar antecedentes de nuestro trabajo aportaciones que provienen de tres líneas más o menos independientes dentro de la didáctica de las ciencias y de otras disciplinas:

1. *La fundamentación teórica de la didáctica de las ciencias.*
En esta línea, se ha reconocido que la epistemología es una herramienta importante para fundamentar la didáctica de las ciencias (Cleminson, 1990; Joshua y Dupin, 1993; Izquierdo, 1995b), y se han propuesto diversas ideas para dar cuenta del funcionamiento actual de nuestra disciplina (Yager, 1983, 1984; Perales, 1995; Astolfi, 1997).
2. *La enseñanza de la epistemología a profesores de ciencias.* Esta línea agrupa tres apartados complementarios. En primer lugar, el análisis de las ideas del profesorado de ciencias acerca de la naturaleza de la ciencia (Lederman, 1992; Guilbert y Meloche, 1993; Mellado, 1997). En segundo lugar, el debate acerca de qué epistemología incluir en el currículo de formación inicial del profesorado de ciencias (Driver et al., 1996; Alters, 1997; Adúriz-Bravo, 1999c; Fernández Montoro, 2000). Por último, las propuestas prácticas diseñadas para llevar a cabo esta formación (McComas, 1998b; Abd-el-Khalick y Lederman, 1999).

⁸ De este tema se ocupa específicamente la segunda parte de la tesis.

3. *La recuperación de la práctica profesional del profesorado de ciencias.* Nos interesa recobrar la línea que estudia las prácticas didácticas tradicionales procedentes del ámbito de la educación científica (Andreozzi, 1996; Litwin, 1997; Eder, 2001b; Hofstein, 2001; Viennot, 2001; Woolnough, 2001).

Los antecedentes recogidos para esta tesis, tal como puede verse en la bibliografía, son numerosos; hemos procurado, además, utilizar referencias de diversas procedencias (Europa continental, la esfera anglosajona y América Latina). Los antecedentes son revisados a lo largo de la tesis, a medida que los vamos recuperando para dar aval a nuestras ideas.

1.4 Nuestro recorrido en la didáctica de la epistemología⁹

Nos interesa el área de las relaciones entre la didáctica de las ciencias y la epistemología

Desde nuestro inicio en la investigación en didáctica de las ciencias, hemos planteado la importancia de vincular esta disciplina con las metaciencias, y en particular con la epistemología, entendida como la reflexión metateórica por excelencia (Adúriz-Bravo, 1993, 1994, 1996b, 1997a, 1998c). En nuestro primer trabajo, por ejemplo, al hacer una valoración de la propuesta teórica de Lydia Galagovsky (1993b), resaltábamos la integración entre los aspectos psicológicos, pedagógicos y epistemológicos que se da en el *método de problemas*, y en general en todo el paradigma constructivista didáctico (Adúriz-Bravo, 1993).

A partir de ese primer momento, nuestros estudios a lo largo de varios años se centraron en las formas de relación entre la didáctica de las ciencias y la epistemología, y condujeron a aportaciones en variados frentes. En el contexto de este sistema de

⁹ La utilización del plural *nosotros* a lo largo de esta tesis obedece, además de a cuestiones retóricas tradicionales en castellano, a una voluntad genuina de inscribir las proposiciones de su autor en el marco más amplio de una tradición de pensamiento llevada adelante en el Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals.

relaciones, fue surgiendo la voluntad de *revisar la calidad de la enseñanza de la epistemología a distintas poblaciones*, que da motivación a esta tesis (Adúriz-Bravo, 1999c). Este objetivo nos llevó a diferentes planteamientos teóricos e investigaciones empíricas, que pueden clasificarse en nueve grandes categorías:

1. diagnóstico de las ideas acerca de la naturaleza de la ciencia en estudiantes de ciencias primarios, secundarios, terciarios y universitarios (Adúriz-Bravo, 1996a, 1998d; Adúriz-Bravo, Morales y Galagovsky, 1997; Adúriz-Bravo, Morales et al., 1997; Adúriz-Bravo y Morales, en prensa),
2. diagnóstico de las ideas acerca de la naturaleza de la ciencia en profesores de ciencias en formación y en activo (Adúriz-Bravo, 1996a; Adúriz-Bravo, Espinet et al., 2000; Adúriz-Bravo, Salazar et al., 2001),

Estas dos primeras categorías involucraron la construcción de instrumentos *originales*, tanto para la recolección como para el análisis de los datos empíricos. En este campo, destacamos nuestra colaboración en el desarrollo del protocolo de encuesta “Mi imagen sobre la naturaleza de las ciencias” (Espinete et al., 1998a, 1998b), y nuestra red sistémica “Aspectos de la naturaleza de la ciencia” (Adúriz-Bravo, 1998a), adoptada como herramienta analítica, con modificaciones, en el trabajo de investigación de Isabel Salazar (2000).

Hay además, en nuestra producción, un estudio más bien teórico, que sienta las bases del campo e incluye revisiones bibliográficas, que configuran dos nuevas categorías:

3. reseña de los posibles aportes de la epistemología a la formación del profesorado de ciencias (Adúriz-Bravo, 1997a, 1998c, 1999b, 1999c, 2001b; Adúriz-Bravo, Badillo et al., en prensa),
4. meta-análisis de la importancia del que llamamos *tercer campo de Lederman*¹⁰ en la didáctica de las ciencias actual (Adúriz-Bravo, 1999b; Adúriz-Bravo y Meinardi, 2000; Adúriz-Bravo, Izquierdo et al., 2001),

¹⁰ Esto es, el análisis de las ideas del profesorado de ciencias acerca de la naturaleza de la ciencia, y el desarrollo de propuestas para mejorar estas ideas (ver el capítulo 3).

Este estudio contribuye a perfilar más claramente el problema de investigación e innovación didácticas que se aborda en la tesis. A esto se agregan dos categorías que dan cuenta de nuestras producciones más recientes, ya inscritas en el proyecto de tesis doctoral:

5. elaboración de criterios de selección y estructuración de los contenidos de la epistemología, con vistas a la formación del estudiantado y el profesorado de ciencias (Adúriz-Bravo, 2000b, 2000c, 2001b, en prensa-d; Adúriz-Bravo y Erduran, 2001; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2000a, 2000b, 2001e, 2001f; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany, en prensa),
6. meta-análisis de actividades didácticas diseñadas para enseñar la epistemología a estudiantes y profesores de ciencias (Adúriz-Bravo, 2000b, en prensa-d; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany, 2001),

Estas dos categorías llevan, por último, a un primer intento de generación de aportaciones curriculares, en tres formas:

7. generación de ideas clave para instrumentar la enseñanza de la epistemología para el profesorado de ciencias (Adúriz-Bravo, 2000a, en prensa-b; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2000a, 2001f),
8. generación de actividades didácticas para enseñar tópicos seleccionados de la epistemología a profesores de ciencias en formación y en activo (Adúriz-Bravo, 1999d, 2000a, 2001a, 2001c, en prensa-c, en revisión-b; Adúriz-Bravo y Bonan, 2001; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001f), y
9. adaptación de algunas de nuestras producciones de investigación enfocadas en la epistemología, para usarlas como material didáctico en la formación del profesorado de ciencias (Adúriz-Bravo, 1998a, 1998b, 1999a, 1999e, 2001d, 2001e, en revisión-a).

Nuestra
tarea
docente
ha sido
en la
formación
epistemológica
del profesorado
de ciencias

Paralelamente a esta producción de carácter académico, llevamos varios años comprometidos con la tarea de la formación epistemológica de estudiantes y profesores de ciencias. Nuestras experiencias didácticas, que son desglosadas

más detalladamente en el capítulo 7, han quedado registradas en diversas publicaciones¹¹.

De entre estas publicaciones, queremos destacar cuatro que están específicamente diseñadas como material didáctico, y que por tanto pueden ser consideradas verdaderas *propuestas de enseñanza de la epistemología*. Se trata de Adúriz-Bravo (1995a), que está dirigida a la formación del estudiantado de ciencias de secundaria y bachillerato, Adúriz-Bravo (1997b), para la formación inicial del profesorado de ciencias, y Adúriz-Bravo (1999d, 2000a), que están escritas para la formación continuada. Algunos elementos de estas publicaciones forman parte de las tres aplicaciones de nuestra tesis.

Esta tesis intenta de alguna manera retratar la interacción entre la producción académica que reseñamos y nuestras propuestas de enseñanza, haciendo un recorrido por la evolución de nuestras ideas para la didáctica de la epistemología. Con este fin, hemos recogido también la experiencia de nuestra directora de tesis y de los tres asesores de este trabajo, quienes poseen una amplia producción teórica y una reconocida trayectoria docente en el tema que nos ocupa, plasmadas en numerosas publicaciones¹².

Estos elementos son los que nos han permitido perfilar el problema de investigación de la tesis doctoral, procurando que tuviera un sentido *didáctico* (Lijnse, 2000). Esto es, más allá de su carácter teórico, es nuestra intención que las aportaciones aquí expuestas tengan alguna incidencia en el campo de la educación científica, especialmente en lo que atañe a la formación del profesorado de ciencias.

¹¹ Adúriz-Bravo (1995a, 1995b, 1997b, 1999b, 1999d, 2000a, 2000b, en prensa-b, en revisión-b); Adúriz-Bravo y Badillo (en preparación); Adúriz-Bravo, Badillo et al. (en prensa); Adúriz-Bravo e Izquierdo (2000a); Adúriz-Bravo, Morales y Galagovsky (1997).

¹² Entre ellas: Estany (1990, 1993, en prensa); Estany e Izquierdo (1990, 2001); Izquierdo (1992, 1994b, 1996a, 2000a, 2000b); Galagovsky (1993b, 1997); Duschl (1994, 1997, 2000b).

1.5 Elementos teóricos

Se exponen los fundamentos teóricos de esta tesis Hay una serie de elementos conductores de naturaleza teórica que atraviesan toda la tesis. Estos elementos pueden ser considerados la *teoría didáctica de las ciencias* que detentamos. Son los siguientes:

1. Un *modelo cognitivo de ciencia* (Giere, 1992b), complementado con aportes de las concepciones *estructuralista* (Moulines, 1982, 1991) y *semántica* (Suppe, 1979, 1989).
2. Un *modelo histórico-didáctico de ciencia*, en el cual las actividades de innovación y de educación están íntimamente ligadas (Izquierdo, 1999b). Este modelo sugiere el establecimiento de muchos paralelismos entre la didáctica de las ciencias y las otras metaciencias.
3. Un *modelo de ciencia escolar* autónoma que se genera por transposición didáctica sobre la ciencia erudita (Izquierdo, Espinet et al., 1999).
4. Un *modelo de desarrollo curricular* que se fundamenta en la integración de registros teóricos y se instrumenta a través de modelos *irreductibles* (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001b; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Duschl, 2001).
5. Un *modelo del currículo de ciencias* con un énfasis importante en la componente metacientífica, y en sintonía con las ideas de la alfabetización científica *para todos* (AAAS, 1989, Millar y Osborne, 1998).
6. Un *modelo generativo de enseñanza* de las ciencias, con expansiones en dos direcciones: el uso de la analogía como mecanismo didáctico (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001), y una concepción metacognitiva y autorregulatoria de la evaluación (Sanmartí, 2000a).
7. Un *modelo de integración de las metaciencias* en la educación científica, que tiene en cuenta su triple naturaleza: como contenido específico, como reflexión sobre la ciencia y como instrumento didáctico (Bybee, 1990; Monk y Osborne, 1997; Seroglou y Koumaras, 1999a; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001f).
8. Un *modelo profesionalizador de formación del profesorado* de ciencias, en el cual la epistemología juega un papel estructurador (Adúriz-Bravo, en prensa-b; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany, en prensa).

1.6 Derivaciones

Hemos iniciado nuevas investigaciones e innovaciones, expuestas en diecisiete publicaciones Las ideas desarrolladas en esta tesis doctoral se están poniendo en acción actualmente en varias investigaciones e innovaciones didácticas derivadas, llevadas a cabo conjuntamente con diversos colegas. Estos trabajos amplían las propuestas de esta tesis en varios sentidos: plantean investigaciones empíricas de tipo evaluativo, proporcionan foros de discusión, difunden nuestras aportaciones, aplican las ideas a la práctica, generan nuevos problemas.

Las derivaciones están expuestas en forma preliminar en las siguientes publicaciones:

Adúriz-Bravo, A. (coord.) (1999). Algunas reflexiones en torno al constructivismo didáctico. Documento de trabajo del Seminario Permanente. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Adúriz-Bravo, A. (2001). Design and implementation of a course on the philosophy of science within the degree of science teaching. Report of experiences from the Universidad de Buenos Aires (Argentina) and Universitat Autònoma de Barcelona (Spain). Resumen aceptado para la *1st TeSME Conference*, Ålborg, Dinamarca.

Adúriz-Bravo, A. y Badillo, E. (en preparación). Importancia de la epistemología para la formación del profesorado de matemática y de ciencias experimentales. La nueva filosofía de la ciencia. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Adúriz-Bravo, A. y Bonan, L. (2001). Actividad para introducir la abducción en el aula de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VI Congreso, 196.

Adúriz-Bravo, A., Bonan, L., Meinardi, E., Morales, L. y Galagovsky, L. (2001). El concepto de *modelo* en la enseñanza de la física. Una revisión epistemológica, didáctica y retórica, en *Actas de la XII Reunión Nacional de Educación en Física*, CD-ROM. General San Martín: Universidad Nacional de San Martín.

Adúriz-Bravo, A. y Erduran, S. (2001). La epistemología específica de la biología como disciplina emergente y su posible contribución a la didáctica de la biología, en *Actas de las V Jornadas Nacionales de Enseñanza de la Biología*. Posadas: Universidad Nacional de Misiones.

Adúriz-Bravo, A., Meinardi, E. y Duschl, R. (2000). Uso del modelo cognitivo de ciencia para interpretar las ideas de los futuros profesores sobre evolución, en *Actas del II Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales*, CD-ROM. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.

Adúriz-Bravo, A. y Morales, L. (en prensa). Problemas con el concepto de *modelo* en la enseñanza de la física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*.

Eder, M.L. y Adúriz-Bravo, A. (2000). Relaciones entre la didáctica de las ciencias naturales y la didáctica general. Una mirada epistemológica, en *Actas del II Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales*, CD-ROM. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.

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.

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.

Galagovsky, L., Adúriz-Bravo, A. y Bonan, L. (1998). Didáctica especial y práctica de la enseñanza, en *Actas de las Jornadas Desarrollos en Docencia Universitaria con Expocátedra*, 5. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Galagovsky, L., Morales, L., Bonan, L., Adúriz-Bravo, A. y Meinardi, E. (1999). El modelo de ciencia escolar: Una propuesta de la didáctica de las ciencias naturales para articular la normativa y la realidad del aula, en *Actas de la XI Reunión Nacional de*

Educación en Física, 450. Mendoza: Asociación de Profesores de Física de la Argentina.

Hugo, D. y Adúriz-Bravo, A. (en revisión). Algunos aportes teóricos para la investigación del conocimiento profesional del profesorado de ciencias experimentales acerca de la naturaleza de la ciencia. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*.

Lalinde, J. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Beiträge der Naturwissenschaftenphilosophie zur juristischen Semantik, en *Abstracts of the 13th European Symposium on Language for Special Purposes*, 87. Vaasa: Vaasan Yliopisto.

Meinardi, E., Adúriz-Bravo, A., Bonan, L. y Morales, L. (en prensa). El modelo de *ciencia escolar*. Una propuesta de la didáctica de las ciencias naturales para articular la normativa educacional y la realidad del aula. *Revista de Enseñanza de la Física*.

Villamañán, R. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Diseño de un curso CTS para la formación inicial de maestros de primaria, en *Proceedings del I Congreso de Educación para el Desarrollo en la Universidad*. Valladolid: Universidad de Valladolid.

1.7 Publicaciones

Hemos difundido resultados parciales de esta tesis en treinta y cuatro publicaciones

Durante el período de producción de esta tesis, hemos intentado difundir nuestras ideas y propuestas entre los profesores de ciencias y didactas de las ciencias. Consideramos que el trabajo de exposición de las propias producciones frente a los colegas ayuda extraordinariamente a afinarlas.

Nuestra actividad de difusión ha dado lugar a treinta y cuatro publicaciones de distinta envergadura, que se enumeran a continuación¹³:

¹³ Las publicaciones marcadas con un asterisco se reproducen en el quinto apéndice de la tesis.

Adúriz-Bravo, A. (1998). Aspectos de la naturaleza de la ciencia: Una red sistémica. Documento de trabajo. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Adúriz-Bravo, A. (1998). *Naturaleza de la ciencia*. Protocolo de encuesta. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Adúriz-Bravo, A. (1999). *Materiales para la enseñanza de la epistemología al profesorado de ciencias*. Dossier mimeografiado. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Adúriz-Bravo, A. (1999). Presentación de una herramienta para el análisis epistemológico de las disciplinas. Trabajo inédito. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Adúriz-Bravo, A. (1999/2000). La didáctica de las ciencias como disciplina. *Enseñanza*, 17-18, 61-74.*

Adúriz-Bravo, A. (2000). *Algunas ideas acerca de la ciencia que pueden cambiar nuestra manera de enseñar ciencias*. Dossier mimeografiado (112 páginas). Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.¹⁴

Adúriz-Bravo, A. (2000). A theoretical characterisation of proposals integrating philosophy of science and science education, en *Dossier de la 5th Summerschool of ESERA*, s/pp. Gilleleje: The Danish University of Education.

Adúriz-Bravo, A. (2000). Campos teóricos estructurantes para la enseñanza de la epistemología a futuros profesores de ciencias, en Adúriz-Bravo, A. (ed.). *Libro de resúmenes del Primer Encuentro de Estudiantes de Doctorado en Didáctica de las Ciencias y las Matemáticas*, 7-8. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

¹⁴ Este dossier se reimprimió –ampliado y modificado– en las Universidades de Buenos Aires, Comahue y Valladolid, para sendos cursos de formación de profesorado de ciencias en activo. En total se distribuyeron unos setenta ejemplares.

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). A proposal to teach the abductive argumentation pattern through detective novels, en Psillos, D. et al. (eds.). *Proceedings of the Third International Conference on Science Education Research in the Knowledge Based Society*, Volumen II, 715-717. Salónica: Aristotle University of Thessaloniki.*

Adúriz-Bravo, A. (2001). *Dos usos de la historia de la ciencia en la enseñanza de las ciencias en secundaria*. Dossier mimeografiado. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Adúriz-Bravo, A. (2001). El desarrollo curricular en ciencias experimentales como una tecnología basada en conocimiento didáctico, en Rodríguez Aguirre, G. (ed.). *Resúmenes del II Encuentro de Estudiantes de Doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas*, 3-4. Barcelona: Universitat de Barcelona.

Adúriz-Bravo, A. (2001). Relaciones entre la didáctica de las ciencias experimentales y la filosofía de la ciencia, en Perales, F.J. et al. (eds.). *Las didácticas de las áreas curriculares en el siglo XXI*, Volumen I, 479-491. Granada: Grupo Editorial Universitario.*

Adúriz-Bravo, A. (en prensa). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Educación y Pedagogía*.

Adúriz-Bravo, A. (en prensa). Algunas ideas actuales acerca de la naturaleza de la ciencia que pueden cambiar nuestra manera de enseñar ciencias naturales en secundaria, en Actualizaciones en didáctica de las ciencias naturales y las matemáticas.

Adúriz-Bravo, A. (en prensa). Aprender sobre el pensamiento científico en el aula: Una propuesta para usar novelas policiales. *Alambique*, 31.

Adúriz-Bravo, A. (en prensa). A theoretical framework to characterise and assess proposals to teach the philosophy of science in the context of science education, en *Proceedings of the 5th Summerschool of ESERA*. Copenhagen: The Danish University of Education.

Adúriz-Bravo, A. (en revisión). La muerte en el Nilo. Una propuesta para aprender sobre el razonamiento científico en el aula de ciencias naturales de secundaria. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Adúriz-Bravo, A., Badillo, E., Salazar, I. y Mena, N. (en prensa). Importancia de la epistemología para la formación del profesorado de matemática y de ciencias experimentales. El positivismo lógico. *Nodos y Nudos*.

Adúriz-Bravo, A., Duschl, R. e Izquierdo, M. (en revisión). El desarrollo curricular en ciencias como una tecnología basada en conocimiento didáctico. *Journal of Science Education*.

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2000). Ideas epistemológicas ‘estructurantes’ para la formación del profesorado de ciencias experimentales, en del Carmen, Ll. (ed.). *Simposi sobre la formació inicial dels professionals de l’educació*, 187-188. Girona: ICE de la Universitat de Girona.

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2000). “Structuring” ideas from philosophy of science for physics teacher education, en *Abstracts of the International Conference Physics Teacher Education Beyond 2000*, 135. Barcelona: PTTIS.

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2001). A ‘3P-model’ for didactics of science. Resumen aceptado para la *6th International History, Philosophy and Science Teaching Conference*, Denver, Estados Unidos.

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2001). ‘Irreducible’ models as a tool to design STM curricula. Resumen aceptado para la *CASTME Europe Conference*, La Valetta, Malta.

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2001). La didáctica de las ciencias experimentales como disciplina tecnocientífica autónoma, en Perales, F.J. et al. (eds.). *Las didácticas de las áreas curriculares en el siglo XXI*, Volumen I, 291-302. Granada: Grupo Editorial Universitario.*

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2001). L'ensenyament del tòpic d'ones i camps en el marc d'un model cognitiu de ciència escolar. Resumen aceptado para el *VI Simposi sobre l'Ensenyament de les Ciències de la Natura*, Balaguer, España.

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2001). 'Structuring' ideas from the philosophy of science for physics teacher education, en Pintó, R. y Suriñach, S. (eds.). *International Conference Physics Teacher Education Beyond 2000. Selected contributions*, 363-366. París: Elsevier.*

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2001). The philosophy of science in prospective science teacher education. Rationale and practical proposals, en *Proceedings de la 26ª Reunión Anual de la ATEE*, s/pp. Estocolmo: Lärarhögskolan.

Adúriz-Bravo, A., Izquierdo, M. y Duschl, R. (2001). Una aplicación del modelo cognitivo de ciencia en la ciencia escolar: El modelo irreductible de ondas y campos. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VI Congreso, 35-36.

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., Izquierdo, M., Estany, A., Duschl, R. y Galagovsky, L. (2001). Review of three research lines within the area HPS. Resumen aceptado para la *6th International History, Philosophy and Science Teaching Conference*, Denver, Estados Unidos.

Adúriz-Bravo, A., Izquierdo, M. y Galagovsky, L. (1999). Relations between philosophy of science and didactics of science, en Bevilacqua, F. y Giannetto, E. (eds.). *Bicentenary of the invention of the battery*, 53. Pavia/Como: European Physical Society.

Adúriz-Bravo, A., Izquierdo, M. y Galagovsky, L. (en prensa). Relationships between the philosophy of science and didactics of science. *Journal of Science Education*, 3(5).

Capítulo 2

Las relaciones entre la didáctica de las ciencias y la epistemología

En este capítulo se describen siete relaciones disciplinares distintas que se establecen entre la didáctica de las ciencias y la epistemología. Las primeras cinco se inscriben en un sistema de relaciones *discursivas* entre las dos disciplinas, que postulamos por primera vez en nuestra tesis de maestría (Adúriz-Bravo, 1999b), y expandimos luego en sucesivos trabajos (Adúriz-Bravo, Izquierdo y Galagovsky, 1999, en prensa). Las últimas dos relaciones entre la didáctica de las ciencias y la epistemología (Adúriz-Bravo, 2001e) están mediadas por sus objetos de estudio compartidos, la *ciencia erudita* y la *ciencia escolar*.

Se resume
el capítulo

Comenzamos el capítulo definiendo algunos de los términos especializados que se utilizan a lo largo de la tesis. La segunda sección está dedicada a la taxonomía de relaciones que hemos desarrollado. Por último, inscribimos las tres aplicaciones de la segunda parte de la tesis en el panorama de esta taxonomía.

2.1 Terminología

En esta sección se realiza una serie de precisiones terminológicas, con el objeto de fijar lo más explícitamente posible los alcances y límites de las afirmaciones posteriores. Nuestra tesis explora la enseñanza de diversos aspectos de las relaciones entre la didáctica de las ciencias y la epistemología; dichas disciplinas se inscriben en el ámbito de las ciencias sociales. Dada la polisemia que caracteriza los términos en este ámbito (Mardones, 1991), conviene aclarar el uso que se hace de algunos de ellos a lo largo de esta tesis.

Se define el término *didáctica* Entendemos por *didáctica* aquel *metadiscurso*, o discurso de segundo orden, que predica sobre el discurso de la enseñanza, también llamado discurso didáctico por algunos autores¹⁵. Esto es, llamamos *didáctica* a la disciplina cuyo objeto de reflexión es la práctica en las aulas, y no directamente a dicha práctica¹⁶:

La expresión [de didáctica] remite a un saber *para hacer aprender enseñando*, y no al acto de ejercer la docencia o la actividad misma de enseñar. (Darós, 1987: 215; cursivas en el original)

Esta distinción es importante para nuestros desarrollos posteriores; nos resulta necesario separar desde el inicio los dos órdenes discursivos (actividad y reflexión), a fin de situar este trabajo en el nivel epistemológico adecuado (Mosterín, 1982). La confusión, en los ambientes no especializados, entre los planos de acción práctica y de reflexión teórica sobre la acción, es una de las causas de la ambigüedad que ha mostrado el nombre de *didáctica* para referir a unas disciplinas académicas que intervienen activamente en la educación (Camilloni, 1996; Azcárate e Izquierdo, 2000). Esta ambigüedad ha llevado a Anna Estany y Mercè Izquierdo (2001) a proponer el nombre de *didactología* para la componente de reflexión.

Se define el término *epistemología* Se entiende la *epistemología* como equivalente a *metaciencia* en un sentido amplio (Mosterín, 1982; Moulines, 1982; Klimovsky, 1994), es decir, como la disciplina científica que tiene por objeto de estudio específico la ciencia en general y cada una de las ciencias en particular. Al respecto, Rodolfo Gaeta y Nilda Robles (1990) afirman que

así se llama corrientemente a la parte de la Filosofía que se ocupa específicamente del conocimiento científico. (p. 11)

¹⁵ Por ejemplo, Ferrández Arenaz (1984).

¹⁶ Comparar con Marini (1993/4), que habla de la didáctica como una “práctica reflexiva”.

En este sentido general, la *epistemología* toma libremente elementos de la historia, la sociología y la psicología de la ciencia¹⁷, sin identificarse con ninguna de ellas. Además incluye la *metodología de la ciencia*, que según algunos autores constituye el núcleo de la disciplina¹⁸.

Tomamos la epistemología en este sentido muy amplio a fin de sintonizar con la idea de *naturaleza de la ciencia*, difundida en la didáctica de las ciencias. En la formación inicial del profesorado de ciencias, las oportunidades para la introducción de la epistemología son limitadas. Por ello, estamos de acuerdo con utilizar en forma combinada los recursos de todas las metaciencias:

The intersection of the various social studies of science is where the richest view of science is revealed for those who have but a single opportunity to take in the scenery.
(McComas, Clough y Almazroa, 1998: 4)

Este es sólo uno de los usos que se da a la palabra *epistemología* en la literatura especializada¹⁹. Es un uso, además, en el que muchas veces se la sustituye por la expresión *filosofía de la ciencia*, particularmente en la tradición anglosajona²⁰.

Además, conviene aclarar dos opciones terminológicas más. Las ciencias naturales son muchas veces llamadas *experimentales* Cuando se lee *didáctica de las ciencias*, ha de entenderse el nombre completo de *didáctica específica de las ciencias naturales*, aunque la forma abreviada es de amplio uso en la literatura europea continental. Las ciencias naturales, también incorrectamente llamadas *experimentales*, son para nosotros la

¹⁷ Mario Bunge (1980) llama *ciencia de las ciencias* al conjunto de estas disciplinas.

¹⁸ La metodología es la “epistemología del siglo XX” para Juan Samaja (1994) y Javier Echeverría (1999).

¹⁹ Para otros usos distintos, ver: Piaget (1972); Harré (1985); Moulines (1991); Siegel (1993); Loving (1997); Leach (2001).

²⁰ Por ejemplo: Chalmers (1984, 1992); Gillies (1993); Rosenberg (2000).

astronomía, la física, la química, la biología, la geología y la meteorología²¹.

Por otra parte, llamamos *pedagogía* a la *ciencia de la educación*, siguiendo a numerosos autores²². Nos separamos así de quienes la incluyen en el conjunto amplio de las ciencias de la educación²³, y de quienes consideran que se trata de una disciplina esencialmente no científica (Gentile, 1975). Como consecuencia de esta elección teórica, entendemos que la didáctica, en su versión general, es una rama de la pedagogía (Saloni, 1970). Izquierdo (1990b) también encuentra útil establecer esta *relación de parte*:

La didáctica general se refiere a la metodología de la enseñanza y en ello se diferencia de la pedagogía, que se refiere a la metodología general educativa. (p. 9)

Se basa para ello en que la enseñanza es un aspecto particular del concepto más general de *educación*.

2.1.1 *El área HPS y la línea NOS*

Se introducen las siglas inglesas NOS y HPS

También adoptamos en este trabajo las denominaciones muy difundidas de NOS (*nature of science*, naturaleza de la ciencia) y HPS (*history and philosophy of science and science teaching*, aportaciones de la epistemología y la historia de la ciencia a la didáctica de las ciencias) (Adúriz-Bravo, Izquierdo et al., 2001). NOS es una línea de investigación dentro de HPS, que a su vez puede ser considerada una rama de la didáctica de las ciencias.

²¹ La cuestión de la posible existencia independiente de las didácticas de cada una de las ciencias naturales se esboza en Galagovsky, Adúriz-Bravo y Bonan (1998), Adúriz-Bravo (1999b) e Izquierdo (1999b). Esta cuestión se propone como objeto de reflexión a los futuros profesores de ciencias en la segunda de nuestras aplicaciones.

²² Entre otros: García Hoz (1960); Planchard (1961); Saloni (1970); Flitner (1972); Manganiello (1980); von Cube (1981); Sanjuán Nájera (1983); Sarramona y Marquès (1985); Best (1988).

²³ Por ejemplo: del Pozo Pardo (1982); Quintana Cabanas (1983); Mialaret (1981).

La *naturaleza de la ciencia* es definida así por William McComas, Michael Clough y Hiya Almazroa (1998):

The nature of science is a fertile hybrid arena which blends aspects of various social studies of science including the history, sociology, and philosophy of science combined with research from the cognitive sciences such as psychology into a rich description of what science is, how it works, how scientists operate as a social group and how society itself both directs and reacts to scientific endeavors. (p. 4)²⁴

Estos autores enfatizan que los elementos que se toman de las metaciencias son aquellos que tienen incidencia en la educación científica:

For science educators the phrase “nature of science,” is used to describe the intersection of issues addressed by the philosophy, history, sociology, and psychology of science as they *apply to and potentially impact science teaching and learning*. (McComas, Clough y Almazroa, 1998: 5; las cursivas son nuestras)

Una última sigla que conviene recoger es la de CTS (en inglés, STS), correspondiente a *ciencia-tecnología-sociedad*, que es un movimiento relativamente reciente dentro de la didáctica de las ciencias con gran influencia en el desarrollo curricular (Waks y Barchi, 1992; Marco-Stiefel, 2000).

Aunque nos resulta necesario hacer las aclaraciones precedentes a fin de minimizar desde un comienzo los posibles malentendidos a través de una delimitación lingüística de los ámbitos que abordamos, queremos subrayar que existen actualmente en las comunidades académicas de la didáctica de las ciencias y la epistemología otras opciones terminológicas igualmente válidas.

²⁴ En otro trabajo, McComas y Olson (1998: 41) añaden: “[F]our disciplines (the philosophy, history, sociology and psychology of science) add to our description of how science operates”.

2.2 Relaciones entre la didáctica de las ciencias y la epistemología²⁵

Las relaciones entre la didáctica de las ciencias y la epistemología crecen a partir de 1985

La didáctica de las ciencias y la epistemología discurren por carriles separados durante las primeras tres décadas de la existencia de aquella (1955-1985)²⁶:

En [el trabajo de Duschl de 1985] se daba cuenta de que la evolución de la enseñanza de las ciencias está enormemente separada de las disciplinas de historia y filosofía de la ciencia. (Matthews, 1994a: 255)

Sin embargo, este distanciamiento se ha estado revirtiendo muy rápidamente desde inicios de la década del '90:

En los últimos cinco años ha habido un acercamiento significativo entre estos campos. Cada vez más, la historia y la filosofía de la ciencia se van incorporando a la teoría y especialmente a la práctica de la enseñanza de las ciencias. (Matthews, 1994a: 255-256)

Entre otras razones, ha sido el debate alrededor del *constructivismo* como fundamentación teórica para la didáctica de las ciencias²⁷ el que ha favorecido este acercamiento:

Perhaps more than anything else, what has pushed nature of science considerations to the forefront of contemporary science education, is the prominence that constructivism has gained in the science (...) education community. (Matthews, 1998: xv)

²⁵ Esta sección sigue de cerca el texto de dos de nuestros artículos (Adúriz-Bravo, 2001e; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Galagovsky, en prensa).

²⁶ Nuestra visión de la historia de la didáctica de las ciencias se expone en la segunda aplicación.

²⁷ Ver: Suchting (1992); Matthews (1994c, 1995, 1997); Martínez (1995); Osborne (1996); Castorina (1998); Gil-Pérez et al. (1999); Zamorano (1999); Gil-Pérez (2001).

Las relaciones teóricas entre la epistemología y la historia de la ciencia, por una parte, y la didáctica de las ciencias, por otra, constituyen un sistema conceptual complejo, en el que resulta difícil precisar hasta qué punto cada una de estas disciplinas implica y es implicada por las otras (Adúriz-Bravo, 1999b, 2001e).

Queremos clasificar las relaciones entre la didáctica de las ciencias y la epistemología	El sistema relacional del que hablamos se ha venido expandiendo con una serie de publicaciones que es actualmente muy extensa y diversa ²⁸ . Por ello, nos resulta necesario caracterizar de alguna forma sintética tales relaciones, para poder comunicar más eficazmente el ámbito conceptual específico en el que se inscriben nuestros desarrollos posteriores.
--	--

En una exploración preliminar (Adúriz-Bravo, 1997a, 1998c), reseñamos algunas de las mencionadas relaciones, extraídas de la literatura específica, aunque no dimos al listado ninguna estructura teórica. Similares listados han sido elaborados por Michèle Artigue (1990), Michael Matthews (1991a, 1991b) y Jean-Louis Martinand (1993). La primera autora, por ejemplo, revisa las relaciones desde el punto de vista de las *necesidades epistemológicas* de la didáctica de las matemáticas.

Se resume la sección	En lo que sigue, agrupamos los resultados generales de esas enumeraciones en siete categorías, que creemos en cierta manera representativas del panorama, para luego consignar aquellas seleccionadas para nuestra tesis. El primer apartado está dedicado a construir el sistema de relaciones entre la didáctica de las ciencias y la epistemología que se genera a partir de la consideración de su naturaleza <i>metadiscursiva</i> . El segundo apartado propone otro sistema de clasificación de las relaciones, basado en el criterio de cuál es el objeto de estudio compartido por ambas disciplinas.
----------------------	--

²⁸ Ver recopilaciones bibliográficas en: Matthews (1989, 1991a, 2000); Adúriz-Bravo (1999b); Bell et al. (2001); Seroglou y Koumaras (2001).

2.2.1 Relaciones entre metadiscursos

La didáctica de las ciencias y la epistemología son disciplinas *metadiscursivas*. Una de las características de la filosofía y de algunas de las ciencias llamadas *sociales*²⁹ es su posibilidad de considerar, entre los objetos sobre los cuales ellas predicen, los discursos generados en las distintas actividades que llevan a cabo las personas. Se dice por ello que estas disciplinas son *metadiscursivas*. Esta característica es una manifestación de la poderosa *capacidad recursiva* que poseen las actividades y teorizaciones humanas (Moulines, 1991).

Anna Estany (1993) explica así este concepto:

Cualquier parcela de la realidad puede ser objeto de una reflexión construyendo unas categorías para aprehenderla y comprenderla mejor. Esta categorización es una conceptualización de primer orden. Si tomamos ésta como objeto de estudio y construimos unas categorías para analizar esta primera conceptualización, obtenemos una conceptualización de segundo orden y así sucesivamente. (p. 18)

La ciencia, por cuanto es ella misma en una de sus dimensiones un discurso, puede ser entonces tomada como objeto de estudio por parte de la filosofía y de las diferentes ciencias sociales. Así se ha hablado, por ejemplo, de la historia de la ciencia, la sociología de la ciencia, la filosofía de la ciencia, la pedagogía de la ciencia. Es común agrupar estas y otras disciplinas análogas bajo el rótulo de *metaciencias*, es decir, ciencias *sobre* las ciencias. Las metaciencias son, en el lenguaje antes presentado, conceptualizaciones de segundo orden (Losee, 1997; Mosterín, 1982; Adúriz-Bravo, 1998b, 1998c) (figura 2.1).

La didáctica de las ciencias y la epistemología, en tanto que ambas constituyen *metadiscursos*, al relacionarse entre sí pueden situarse en diversos niveles jerárquicos (Adúriz-Bravo, 1998c, 1999b, 1999e, 2001e). De hecho, se ha postulado una gran variedad de combinaciones entre ambas en la historia de estas dos disciplinas. De ahí que sus relaciones de implicación o de recursión constituyan un árbol complejo, con

numerosos estratos discursivos (figura 2.2). Un ejemplo de esta estratificación recursiva es el sistema formado por los vértices de epistemología, ciencia, enseñanza y aprendizaje que construye López Rupérez (1990, 1995).

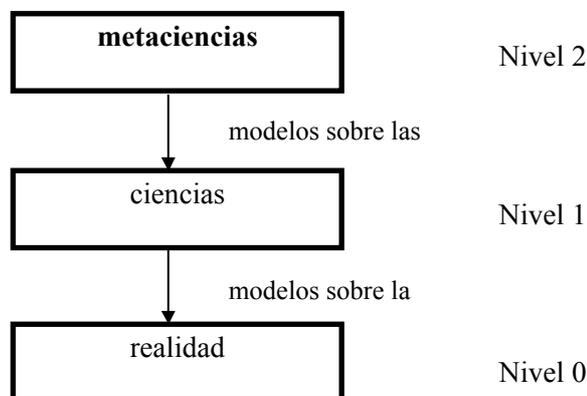


Figura 2.1 Niveles de discurso científico. Las metaciencias son conceptualizaciones de segundo orden.

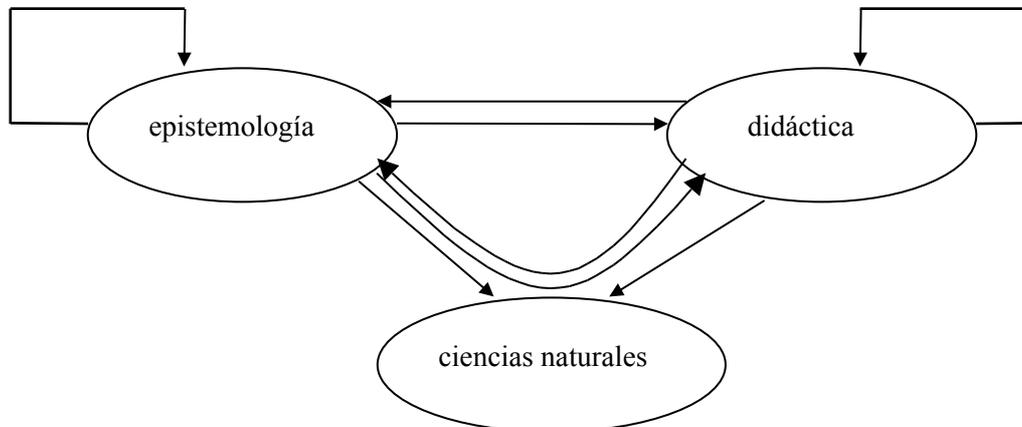


Figura 2.2 Árbol de relaciones autorrecursivas e inter-recursivas entre los discursos sobre las ciencias naturales. Las flechas rectas pueden leerse como “produce discurso sobre”. Las flechas curvas que pasan por las ciencias se refieren a su fundamentación (apartado 2.2.2).

²⁹ También *humanas o culturales*.

Para abordar más precisamente este conjunto de formas de relacionarse, es necesario realizar ciertas simplificaciones y considerar sólo un par de discursos en cada análisis. Esto es, a pesar de que las disciplinas de las que nos ocupamos aquí son capaces de referirse *indefinidamente* a sí mismas y entre ellas, generando así recursiones de órdenes superiores, sólo analizamos la posición que toma un discurso epistemológico respecto de uno didáctico, centrándonos de esta manera en un par de eslabones de esa cadena conceptual³⁰.

Algunos didactas de las ciencias y epistemólogos se han ocupado de las relaciones entre estas dos disciplinas Las formas de relación mencionadas más arriba han sido objeto de estudio para investigadores provenientes de uno u otro campo, más frecuentemente desde la didáctica de las ciencias³¹. Pero también los epistemólogos se han ocupado crecientemente de ellas³². Es en el contexto de tales estudios que cruzan ambas disciplinas donde podemos interpretar estas palabras de Francisco López Rupérez (1990):

El reconocimiento de la existencia de relaciones entre la epistemología y la enseñanza/aprendizaje científicos forma parte de una especie de consenso, a veces tácito, a veces explícito, dentro de la comunidad científica que trabaja en el ámbito de la didáctica de las ciencias. (p. 65)

Sin embargo, la generalización del tratamiento formal de estas relaciones en la producción didáctica de las ciencias es bastante reciente. Richard Duschl (1985), un autor que se ha dedicado a explorarlas, hablaba de un desarrollo “mutuamente excluyente” de ambos campos. En efecto, hasta la década del ’80, como afirma Michael Matthews (1997),

³⁰ Ver Adúriz-Bravo (1999b), sección 1.5, páginas 31-38.

³¹ Muchos de los trabajos que abordan estas relaciones desde la didáctica de las ciencias aparecen en las actas de las *International History, Philosophy, and Science Teaching Conferences*.

³² Ver, por ejemplo, la conocida publicación holandesa *Science & Education*, o el clásico trabajo de Ennis (1979).

the lack of contact between philosophy of science and science education communities [had] been recognized by both groups. (p. 295)

Se reconoce entonces un distanciamiento inicial entre las dos disciplinas que se supone perjudicial para el desarrollo y afianzamiento de la didáctica de las ciencias, y que es necesario revertir en busca de un intercambio más fluido:

En todo nivel donde ha habido cooperación, la educación científica se ha beneficiado sensiblemente, sea en el desarrollo de cursos, la producción de material de enseñanza, la redacción de libros de texto, la dirección de la investigación sobre el aprendizaje de las ciencias, la ampliación de clases y actividades, la preparación de profesores o la definición de competencia científica. (Matthews, 1991b: 141).

En los últimos años, con la didáctica de las ciencias consolidada como disciplina, su cuerpo de investigadores ha podido comenzar a conectarse con la epistemología desde una plataforma teórica de mayor solidez. Se revierte así en parte la tendencia antes señalada:

In the last five years, there has been a significant rapprochement between these fields. Both the theory, and importantly the practice, of science education are becoming more informed by the history and philosophy of science. (Matthews, 1990: 25)

Desde entonces se ha elaborado una creciente cantidad de trabajos que exploran, más o menos sistemáticamente, la interacción entre los discursos de ambos campos, en uno o más de sus aspectos³³. Resulta interesante, para exponer más claramente los fines de esta tesis, ensayar un agrupamiento de estas exploraciones (Adúriz-Bravo, 1998c).

Este agrupamiento, además, puede tener valor para la formación del profesorado de ciencias, al proporcionar herramientas conceptuales para valorar las aportaciones de la epistemología a la propia práctica profesional.

³³ Puede consultarse al respecto la extensa reseña de Matthews (1990), traducida al castellano (1994a).

Proponemos aquí que la variedad de relaciones entre la didáctica de las ciencias y la epistemología, atendiendo simplíficadamente a la posición que toma un discurso respecto del otro, puede ser resumida en cinco clases, que nombramos desde el punto de vista de la epistemología. Las clases se exponen en los cinco párrafos siguientes.

También podemos estudiar las relaciones entre la didáctica de las ciencias y la historia de la ciencia

Conviene aclarar que el sistema conceptual que presentamos es aplicable, en forma muy similar, a las relaciones entre la didáctica de las ciencias y la historia de la ciencia³⁴. La similitud entre la epistemología y la historia de la ciencia en tanto que metaciencias es muy fuerte, y a menudo es imposible una separación tajante entre ambas, aunque su adecuada distinción constituye un problema teórico de actualidad (Moulines, 1991; Estany, 1993, 2000).

2.2.1.1 Relación material

La didáctica de las ciencias se ocupa de la enseñanza de la epistemología

La didáctica de las ciencias está concernida en los procesos de enseñanza y aprendizaje de los saberes científicos, entendidos en forma amplia. Dentro de estos saberes, podemos distinguir tanto el conocimiento actual disponible en las ciencias naturales como, en forma no menos importante, los aspectos históricos, epistemológicos y socioculturales de ese conocimiento, que se sitúan en su periferia metaconceptual. En este sentido, Matthews (1994a, 1998, 2000) habla de que la enseñanza de las ciencias es enseñanza *en* la ciencia y *sobre* la ciencia.

Es así que la epistemología provee por sí misma un conjunto de contenidos relevantes a ser enseñados en el proceso de alfabetización científica (Navarro Brotons, 1983; Brush, 1989, 1991; Matthews, 1991a; Meyling, 1997; Millar y Osborne, 1998; Monk y Dillon, 2000):

³⁴ Estas relaciones se esbozan en Izquierdo (1998c).

Knowledge and understanding of the epistemology of science is an essential aspect of any education in science, and any approach which neglects a consideration of it is incomplete and epistemologically thin. (Osborne, 1996: 55)

Esta primera relación, entonces, tiene su origen en el reconocimiento de la necesidad de introducir los contenidos de la epistemología y otras metaciencias en el currículo de ciencias de todos los niveles:

Many science educators agree that technologically and scientifically literate people must understand something of the history and nature of science and technology. (Bybee et al., 1991: 144)

Recuperamos el debate acerca de la introducción de los contenidos de las metaciencias en el currículo de ciencias	La introducción de estos contenidos acerca de la naturaleza de la ciencia, por otra parte, ha suscitado no poca polémica ³⁵ , y sigue siendo examinada hasta el día de hoy. La polémica ha tocado aspectos tales como el grado de distorsión que se introduce en las metaciencias al transponerlas, o el balance más adecuado entre la componente NOS y los propios contenidos científicos.
---	--

En esta primera relación, según queda dicho, la epistemología funciona como uno de los objetos de estudio de la didáctica de las ciencias (figura 2.3, relación 1). La llamamos *material*, debido a que la didáctica de las ciencias se ocupa de los saberes de la epistemología por sí mismos, independientemente de su condición metateórica, y los analiza críticamente para contribuir a su enseñanza y su aprendizaje en el contexto de la educación científica de diversas poblaciones.

Inscribimos nuestra tesis en la relación material	Es en esta primera relación en la que se inscribe principalmente nuestra tesis. Tomamos la epistemología como objeto de conocimiento, a fin de transponerla e introducirla en la formación del profesorado de ciencias. Atribuimos a la epistemología, en tanto que contenido curricular, un valor intrínseco como <i>justificación</i> de la ciencia a enseñar.
---	--

³⁵ Ver: Brush (1974, 1979, 1989); Siegel (1979); Sánchez Ron (1988); Lombardi (1997).

2.2.1.2 Relación instrumental

La didáctica de las ciencias usa la epistemología como *instrumento* para enseñar ciencias

La didáctica de las ciencias posee una dimensión cuyo objetivo final es la intervención en la práctica, dentro de la cual formula propuestas y prescripciones diversas. Algunas de estas propuestas didácticas se sirven explícitamente de la epistemología y de la historia de la ciencia para mejorar la calidad de la enseñanza y superar dificultades de aprendizaje. Es decir, se usa la epistemología como *instrumento* didáctico, por sus valores auxiliares intrínsecos, dentro del proceso de desarrollo curricular.

Este uso de la epistemología es el que Jean-Louis Martinand (1993) reivindica cuando afirma:

[Le] travail de *transposition de la pratique et de la pensée scientifique en tâches et savoirs scolaires* et de légitimation des propositions peut être appelé “épistémologie appliquée”: il détourne les démarches et les concepts de l’*épistémologie critique ou historique* vers l’invention des possibles et le contrôle des significations. (p. 93; cursivas en el original)

Aznar García (1983), por su parte, habla de

las innumerables aplicaciones con que, el conocimiento de la historia de una ciencia, puede contribuir en el estudio y en la didáctica de la misma. (p. 122)

lo que nos permite incluir su postura dentro de esta categoría.

En esta relación, la epistemología es una de las herramientas utilizadas por la didáctica de las ciencias para sus prescripciones. Pueden reconocerse, en muchas secuencias didácticas, elementos epistemológicos cumpliendo funciones diversas (figura 2.3, relación 2). La llamamos *instrumental*, por cuanto la didáctica de las ciencias se vale de los saberes epistemológicos con independencia de su propio contenido, y sólo en tanto que facilitadores de los saberes científicos.

Recuperamos la idea de enseñar una epistemología ambientada en la historia de la ciencia

Para esta relación es central el papel de una historia *epistemológica* de las ciencias, funcionalmente adaptada a las necesidades didácticas (Kuhn, 1971; Artigas, 1989; Duschl, 1997)³⁶. Es decir, rescatamos un uso pragmático de los episodios de la historia de las disciplinas científicas con el fin de ambientar plausiblemente los contenidos metacientíficos que se introducen en el currículo de ciencias.

2.2.1.3 Relación explicativa

La didáctica de las ciencias se inspira en modelos teóricos de la epistemología

Muchos de los modelos y perspectivas teóricas aceptados dentro de la epistemología han sido utilizados por los didactas de las ciencias como construcciones explicativas válidas (previa adaptación a la especificidad del campo) para los problemas que la didáctica de las ciencias se plantea. Este fenómeno ha sido posible por el solapamiento frecuente de los objetos de estudio de ambas disciplinas en el ámbito de la problemática *gnoseológica*³⁷, en el que han convergido con inquietudes teóricas a veces similares.

Así, por ejemplo, se han manejado (no sin grandes discusiones y críticas) explicaciones *ontogenéticas* y *filogenéticas* comparativas, para dar cuenta de las dificultades de aprendizaje y del fenómeno del *cambio conceptual* (Gil-Pérez, 1983; Nussbaum, 1983, 1989; Nersessian, 1989; Soto y Sanjosé, 2001; Tamayo, 2001).

Varios autores detectan esta incursión de los didactas de las ciencias en el cuerpo teórico de la epistemología:

A recurrent feature of note in the body of constructivist literature is the attention drawn to the parallelism between the ontogenesis of children's scientific thinking and the phylogenesis of the scientific products of the culture. (Monk y Osborne, 1997: 412)

³⁶ Este fenómeno es revisado y criticado en Brush (1979) y Klein (1972).

³⁷ Esto es, la problemática centrada en el conocimiento.

Mercè Izquierdo (1998c) considera que el análisis de los alcances de este paralelismo entre ontogenia y filogenia constituye la “cuestión crucial” en el campo de las relaciones entre la didáctica de las ciencias y la epistemología, pues es capaz de iluminar la legitimidad y pertinencia de varias de ellas.

Referimos a la línea NOS de la didáctica de las ciencias (capítulo 3) *También se han utilizado constructos epistemológicos para caracterizar los modelos de ciencia implícitos o explícitos en profesores, estudiantes, científicos y público en general. Se da por supuesto que dichos modelos tienen una notable incidencia en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, como se ve en este estudio característico de la temática:*

Les conceptions épistémologiques de la Science influencent l’enseignement scientifique (malheureusement, même si les enseignants ne réfléchissent pas sur les prémisses philosophiques à la Science). (Speranza et al., 1987: 401)

Introducimos la hipótesis de Robinson: que las ideas NOS influyen la práctica del profesorado de ciencias *Esta es una suposición que ha guiado mucha investigación reciente acerca del pensamiento del profesorado de ciencias. Ya aparece, sin embargo, en el clásico trabajo de James T. Robinson (1969). Paradójicamente, esta suposición de base no ha sido contrastada suficientemente con el conocimiento empírico disponible o a través de investigaciones rigurosas. Así lo afirman Lederman y Zeidler (1987):*

Interestingly, the presumed relationship between teachers’ conceptions of science and their classroom behavior has remained virtually untested. (p. 731)

Estos presentados son sólo dos de los ejemplos que ilustran cómo la didáctica de las ciencias ha importado herramientas epistemológicas para construir sus explicaciones. Tales ejemplos abundan al punto que han llevado a muchos autores a afirmar que la

epistemología constituye una de las bases o fuentes teóricas de la didáctica de las ciencias³⁸.

Esta relación entre ambas disciplinas es de carácter *analógico*: enfrentada a problemas similares a los de la epistemología, la didáctica de las ciencias adapta construcciones de aquella a la especificidad de su objeto (figura 2.3, relación 3). La finalidad de esta adaptación conceptual es la que hemos denominado *explicativa*.

¿La epistemología se inspira en modelos teóricos de la didáctica de las ciencias? Cabe consignar aquí, frente a la *asimetría* que hemos postulado en esta relación, que recientemente se ha comenzado a aceptar la existencia de un movimiento teórico inverso, desde la didáctica de las ciencias hacia la epistemología (figura 2.3, relación 3b, *explicativa inversa*) (Novak, 1988; Nersessian, 1992; Bizzo, 1993; Izquierdo, 1999a; Azcárate e Izquierdo, 2000). Por ejemplo:

Una serie de estudios recientes vienen demostrando que la propia Historia de la Ciencia puede beneficiarse a su vez de alguna forma de las aportaciones realizadas por la investigación educativa. (Bizzo, 1993: 11)

Ambas disciplinas están participando ahora más coordinadamente en estudios interdisciplinarios sobre la ciencia.

2.2.1.4 Relación retórica

La didáctica de las ciencias se apoya en marcos filosóficos generales La didáctica de las ciencias se ha valido muchas veces de la epistemología como de una “teoría” filosófica general para dar apoyo a las propuestas innovadoras que formula. Esto es, ha buscado enmarcar estas propuestas de intervención en el aula de ciencias dentro de un contexto más amplio (a modo de *cosmovisión* o *Weltanschauung*), que incluye ideas acerca de la

³⁸ Entre otros: Cleminson (1990); Izquierdo (1990a, 1996b, 1998a, 1999b); Joshua y Dupin (1993); Sanmartí (1995); Astolfi et al. (1997).

ciencia, su enseñanza y su aprendizaje, provenientes de diversas escuelas epistemológicas.

Un ejemplo claro de este apoyo en la filosofía lo constituye el *constructivismo educativo*, que en sus orígenes estuvo ligado a posiciones gnoseológicas de filiación kantiana (Hawkins, 1994).

En palabras de Manuel García Doncel (1992):

Toda didáctica se basa en una cierta epistemología, consciente o inconsciente. (p. 263)

Esto puede ser explicado por el hecho de que

toda investigación científica puede enfocarse de diversas maneras, cada una de ellas signada por una concepción general de carácter filosófico. (...) La filosofía se cuela en las ciencias por el andamiaje general o visión del mundo, por los problemas, por los métodos, por los fines cognoscitivos, y por la manera de evaluar unos y otros así como los resultados de la investigación. (Bunge, 1980: 130, 132, 156)

La epistemología se constituye de esta forma en un *relato*, en el sentido que da François Lyotard (1985) al término³⁹, mediante el cual la didáctica de las ciencias valida sus discursos.

Invocar la coherencia entre los sistemas didáctico y epistemológico es visto, según López Rupérez (1990), como

un argumento de cualificación, como la apelación a un criterio de autoridad. [La epistemología] se convierte, entonces, en un tipo de conocimiento superior capaz de iluminar los procedimientos de enseñanza. (p. 66)

En esta relación, el discurso construido por la didáctica de las ciencias se inserta en un sistema conceptual más amplio, de fundamentación filosófica, que le proporciona la epistemología (figura 2.3, relación 4). La llamamos *retórica*, por cuanto la didáctica de

³⁹ Es decir, una *metanarrativa* de justificación.

las ciencias construye a través de ella un discurso o *narrativa* de justificación de su propio estatuto.

Nótese que no estamos aquí retratando la relación (débil) de consistencia teórica que cualquier disciplina científica debe mantener con la epistemología y con las demás ciencias, sino afirmando que la didáctica de las ciencias, como otras disciplinas que estudian fenómenos del ámbito cultural, a menudo se vale deliberadamente de sistemas filosóficos generales, para apoyar desde el exterior su propia robustez discursiva.

2.2.1.5 Relación metateórica

La epistemología estudia la didáctica de las ciencias como disciplina	La epistemología, según la definimos, estudia el conocimiento científico en general, y cada ciencia o disciplina en particular ⁴⁰ . La didáctica de las ciencias –incluso si no decidimos afirmar a priori que sea científica– bien puede funcionar como uno de sus objetos de estudio. Y, efectivamente, en ese rol ha sido considerada, aunque tangencialmente, por algún autor ⁴¹ .
---	---

Por otra parte, existe una preocupación *meta-analítica* o *metateórica* intrínseca que aparece al interior de cada disciplina, y que es característica de los momentos de crecimiento, crisis y búsqueda de consolidación (Piaget, 1970):

No hay duda de que existe una correlación evidente entre los procesos de crecimiento en un cuerpo de conocimientos y el aumento de las preocupaciones conceptuales. A este respecto, puede afirmarse que, a medida que la ciencia crece, se desarrolla también una línea de reflexión sobre la ciencia misma, sobre sus estructuras y sus métodos. (Escolano, 1978: 15)

La didáctica general y las didácticas específicas de las áreas curriculares no están exentas de esta tendencia hacia la investigación acerca de sus basamentos epistemológicos (Eder y Adúriz-Bravo, 2001). Dicha investigación ha sido a menudo

⁴⁰ Ver Adúriz-Bravo (1999b), sección 1.5, páginas 31-38.

⁴¹ Como muestra, Bunge (1980) le dedica un “ejemplo” en el apartado de gnoseología de la tecnología.

encarada con sesgo positivista, y motivada por las dudas acerca de la cientificidad de estas disciplinas (Espinet, 1999), como puede apreciarse en la siguiente cita:

En la ciencia de la educación también se detecta hoy ese gran interés y preocupación por lo “científico”, por construir y estar dentro de ese paradigma. El método, el estatuto científico, los aspectos epistemológicos, son temas fundamentales de esta línea de pensamiento. (Pérez Alonso-Geta, 1985: 15)

A medida que estas disciplinas educacionales maduran, se diversifican y se estabilizan, se vuelven sobre sí mismas para explorar desde un segundo nivel de discurso su propia validez. Tal aparato autorreferencial es puesto en marcha en el momento de búsqueda de un estatuto teórico autónomo.

Esta investigación epistemológica, entonces, se realiza cada vez más frecuentemente desde el interior de las propias disciplinas, transformándose en parte constitutiva de las mismas. Jean Piaget (1972) ya retrata la existencia de esta vigilancia epistemológica interna:

La epistemología del pensamiento científico se ha convertido progresivamente en una cuestión propia de los mismos científicos: los problemas de la “fundamentación” se han incorporado más y más al sistema de cada una de las ciencias. (p. 10)

La didáctica de las ciencias tiene una línea dedicada a la <i>autorrevisión</i> epistemológica	La didáctica de las ciencias también ha conocido, desde sus inicios, las preocupaciones metateóricas sobre sus basamentos, aunque sean hasta el momento relativamente poco abundantes los trabajos que las exponen ⁴² .
--	---

Esta quinta relación sitúa la didáctica de las ciencias como uno de los objetos de estudio de la epistemología, cerrando así el sistema de intercambios discursivos que hemos propuesto entre estas dos disciplinas (figura 2.3, relación 5).

⁴² En nuestra tesis de maestría (Adúriz-Bravo, 1999b, capítulo 1), intentamos dar una mirada teorizada a la existencia de tales preocupaciones, y pasamos revista a los estudios disponibles que se sustentan en esta perspectiva. En la segunda aplicación de esta tesis se presenta la bibliografía al respecto que habíamos recogido entonces.

Es únicamente en esta relación que la epistemología funciona propiamente como una metateoría y un metalenguaje respecto de la didáctica de las ciencias. La epistemología sirve a los didactas de las ciencias como un instrumento para ayudarles a pensar *sobre* la didáctica (Aliberas, 1989; Adúriz-Bravo, 1998c, 1999b; Estany e Izquierdo, 2001).

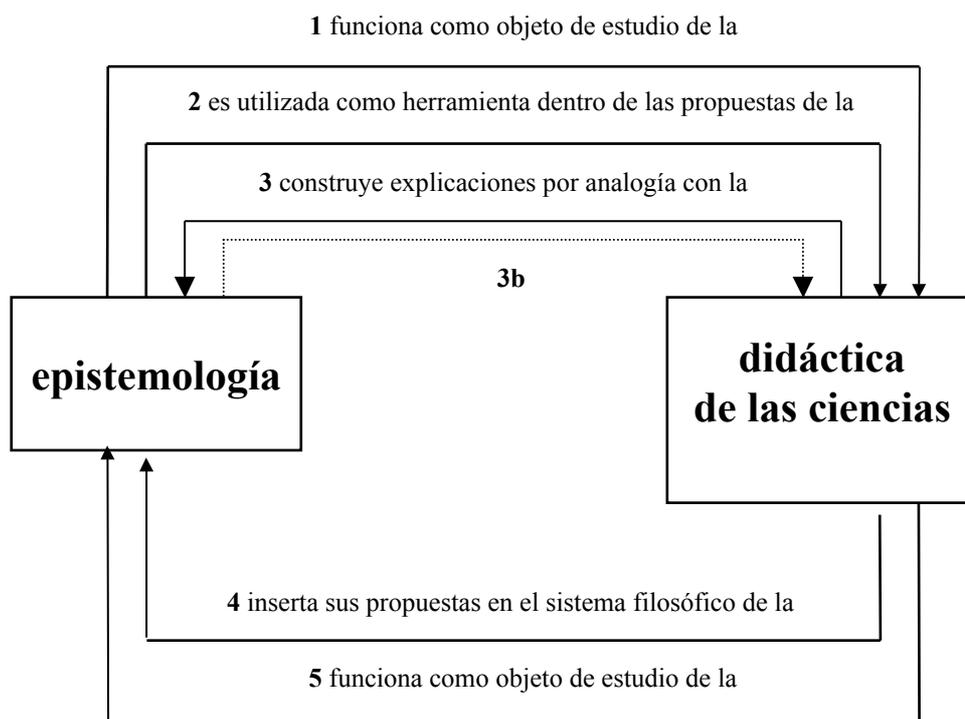


Figura 2.3 Sistema de relaciones discursivas entre la didáctica de las ciencias y la epistemología:

- 1. Relación material.
- 4. Relación instrumental.
- 4. Relación explicativa.
- 3b. Relación explicativa inversa.
- 1. Relación retórica.
- 2. Relación metateórica.

2.2.2 Relaciones mediadas por el objeto

La didáctica de las ciencias y la epistemología se relacionan a través de sus *objetos de estudio*

Además de las cinco relaciones discursivas entre la didáctica de las ciencias y la epistemología que hemos descrito, resulta de interés consignar aquí dos relaciones más, mediadas por los *objetos de estudio* que estas dos disciplinas comparten. Tradicionalmente, tanto la epistemología como la didáctica de las ciencias se han ocupado más bien de la ciencia erudita, es decir, aquella de los científicos. La primera disciplina se centró en el análisis *internalista* de este objeto en sí mismo, y la segunda, en el análisis de su enseñanza y su aprendizaje; quedaron así fuertemente desconectadas entre sí.

En los años '80, el concepto teórico de *transposición didáctica*⁴³ rompió un poco con este “vacío epistemológico” de la didáctica de las ciencias, poniendo en el centro del interés de nuestra disciplina el análisis de contenidos de la llamada *ciencia escolar* (Izquierdo, 1995b, 1999b). Para este análisis se retornó a la epistemología, a fin de buscar allí el aparato conceptual.

Actualmente, hay una tendencia a considerar que la didáctica de las ciencias y la epistemología comparten los objetos de estudio: la ciencia erudita y sus múltiples transposiciones, incluida la escolar, y las actividades de *gestión* de esas ciencias, incluida la educación (Adúriz-Bravo, 1999b, 2000e). Sin embargo, las dos disciplinas analizan estos objetos desde perspectivas teóricas complementarias, desarrollando cada una sus propios modelos específicos.

La didáctica de las ciencias estudia las ciencias *erudita* y *escolar*, fundamentadas desde la epistemología

Las dos relaciones que podemos añadir a nuestra taxonomía son, entonces:

1. la *fundamentación epistemológica de la ciencia erudita*, tarea que es necesaria para poder transponerla y enseñarla (Izquierdo, 1990a), y
2. la *fundamentación epistemológica de la ciencia escolar*, que está aún en sus inicios teóricos (Astolfi et al., 1997; Porlán et

⁴³ Generado en la didáctica de las matemáticas francesa: Chevallard (1997).

al., 1998; Izquierdo, 1999b, 2000a), y que plantea una serie de problemas de investigación interesantes para ambas disciplinas.

La relación entre la didáctica y la epistemología que está mediada por la ciencia escolar ha estado presente en los últimos veinte años en la didáctica de las matemáticas francesa. La epistemología ha contribuido a desprenderse de la ilusión de *transparencia* de los objetos de enseñanza y a eliminar las representaciones epistemológicas erróneas:

Dans cette direction, celle de la vigilance épistémologique, de la prise de distance par rapport à l'objet d'étude, l'analyse épistémologique permet également au didacticien de prendre la mesure des disparités existant entre savoir "savant" (...) et savoir "enseigné". (Artigue, 1990: 224-225)

En la figura 2.2, hemos representado estas dos nuevas relaciones por medio de las líneas curvas que conectan la didáctica de las ciencias y la epistemología pasando por las ciencias naturales (entendidas en sus versiones erudita y escolar). Hemos planteado, como en el caso de la relación explicativa, la posibilidad de que estas relaciones se establezcan en ambas direcciones (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2001).

2.3 Nuestra tesis en esta taxonomía

Nuestra tesis intenta explorar varias de las relaciones definidas más arriba

Dado que nuestro tema de investigación e innovación es la enseñanza de la epistemología al profesorado de ciencias, el conjunto de nuestra tesis se inscribe perfectamente en la llamada relación material. Sin embargo, a la hora de plantear nuestras aplicaciones, exploramos algunas otras relaciones:

1. las relaciones material, instrumental y de fundamentación de la ciencia erudita en la primera aplicación, a través de la cual intentamos enseñar al profesorado de ciencias contenidos epistemológicos por sí mismos y como soporte de los contenidos científicos,

2. las relaciones metateórica, explicativa y retórica en la segunda aplicación, en la cual pretendemos que los profesores de ciencias reflexionen sobre la didáctica de las ciencias como actividad, y
3. las relaciones explicativa, instrumental y de fundamentación de la ciencia escolar en la tercera aplicación, en la cual proponemos a los profesores de ciencias que lleven a cabo un análisis epistemológico de contenidos curriculares.

La epistemología ayuda al cumplimiento de los *objetivos* proclamados para la educación científica

La epistemología, en tanto que metaciencia, funciona a modo de fundamentación de las *ciencias naturales eruditas*⁴⁴, complementando y enriqueciendo la propia educación científica general, y poniéndola en coherencia con los ambiciosos objetivos curriculares que se sostienen actualmente: una educación democrática y crítica dirigida a la toma de decisiones informadas en el ámbito científico y tecnológico (AAAS, 1989; Izquierdo, 1994a, 1999b, en preparación; Driver et al., 1996; Sanmartí e Izquierdo, 1997; Matthews, 1998, 2000; Millar y Osborne, 1998; Kolstø, 2000, en prensa-a). Consecuentemente, la epistemología pasa a constituir un objeto legítimo de análisis para la didáctica de las ciencias, al ser examinada desde la cuestión teórica y práctica de cómo enseñarla para mejorar la educación científica.

Debido a esta importancia curricular, se propone en esta tesis que el profesorado de ciencias debería conocer algunos contenidos específicos de la epistemología, con tres fines: fundamentar la propia visión de ciencia, enseñarlos explícita o implícitamente, y mejorar con ellos la enseñanza de los contenidos de ciencias. Adscribimos entonces a la siguiente afirmación:

Cal, per tant, que [el professor de ciències] aprengui filosofia de la ciència. (Izquierdo, 1990a: 74)

Además, el profesor de ciencias en formación o en activo debería realizar una reflexión acerca de la utilidad y el alcance de estos contenidos epistemológicos en su propia práctica profesional (Izquierdo, 1990a, 1996b, 1998c, 1999b; Monk y Osborne, 1997;

⁴⁴ Las ciencias *sabias*, o de los científicos (Chevallard, 1997).

Cobern y Loving, 1998; Villamañán y Adúriz-Bravo, 2001). Esta reflexión constituye lo que hemos dado en llamar la *cuestión metafísica*.

Se resume el capítulo Este capítulo se inicia situando nuestro trabajo dentro del contexto general del área de investigación HPS⁴⁵ (Adúriz-Bravo, Izquierdo et al., 2001), que es la que enmarca y *justifica* la enseñanza de la epistemología para las distintas poblaciones. Dentro de esta amplia área de investigación, la línea NOS² realiza un diagnóstico crítico de las ideas epistemológicas de estudiantes y profesores de ciencias, encontrándolas pobres, incompletas y defectuosas (Cotham y Smith, 1981; Rowell y Cawthron, 1982; Aguirre et al., 1990; Gustafson y Rowell, 1995; Porlán et al., 1998; Fernández Montoro, 2000; Adúriz-Bravo, Salazar et al., 2001). La primera y la segunda sección del capítulo están dedicadas a la reseña de este diagnóstico.

Este diagnóstico, sumado a las nuevas orientaciones curriculares que ponen el conocimiento acerca de la naturaleza de la ciencia en un lugar central de la educación científica general (Monk y Osborne, 1997; Matthews, 1998; McComas y Olson, 1998; Millar y Osborne, 1998), deriva en la necesidad de la formación epistemológica del profesorado de ciencias. Se justifica esta necesidad en la tercera sección.

Tal necesidad nos lleva a tratar de identificar o construir criterios para, por una parte, realizar una adecuada transposición didáctica de la epistemología, y por otra, sustentar modelos eficaces de formación epistemológica inicial. Estas tareas ya han sido iniciadas por algunos autores del ámbito hispanoamericano comprometidos con la formación epistemológica del profesorado de ciencias⁴⁶.

⁴⁵ Ver el capítulo 2.

⁴⁶ Entre otros, Daniel Gil-Pérez (1993), Anna Maria Pessoa de Carvalho (1994), Rafael Porlán (1994), Marilar Jiménez Aleixandre (1995), Neus Sanmartí (1995), Lydia Galagovsky (1997), Vicente Mellado (1997) y Mercè Izquierdo (2000a).

La búsqueda de criterios para enseñar mejor la epistemología, nos conduce a recuperar prácticas educativas consideradas valiosas por el profesorado de ciencias, en un intento de hacer un análisis de sus aciertos, de modo de poder entenderlos, apropiarlos y transferirlos. Las prácticas que recolectamos son analizadas a través de registros *escritos* producidos con el fin de difundirlas en la comunidad de didactas de las ciencias. Esta metodología se explica en la cuarta sección.

Queremos
revisar la
epistemología
que circula
en la
didáctica
de las ciencias

Nuestra tarea de análisis nos lleva también a examinar la calidad de la epistemología que circula dentro de la didáctica de las ciencias, revisando algunos supuestos que nuestra comunidad académica maneja implícita o explícitamente (quinta sección). Muchas veces se identifican como ideas epistemológicas *actuales* aquellas elaboradas hace más de treinta años (Adúriz-Bravo, 1999b, 1999c)⁴⁷, y se las presenta en forma esquemática o superficial:

Lo que se ofrece como fundamentaciones filosóficas son versiones simplificadoras en exceso, o incluso distorsionadas de posiciones teóricas que encierran gran complejidad. (Jiménez Aleixandre, 1997: 9)

A nuestro juicio, resulta necesario cuestionar el uso extensivo que se ha hecho de algunos modelos epistemológicos prototípicos, y a la vez intentar instalar otros más recientes o más adecuados desde el punto de vista de la didáctica de las ciencias, poniéndolos a la consideración de nuestros colegas, y mostrando sus posibles derivaciones para la educación científica.

Ya avanzábamos este problema de la inadecuada fundamentación epistemológica de la didáctica de las ciencias en nuestro proyecto de tesis doctoral (Adúriz-Bravo, 1999c), situándolo en el centro de nuestros esfuerzos de investigación:

⁴⁷ Ver por ejemplo la concepción de “epistemología contemporánea” que tienen trabajos como: Nussbaum (1989); Mellado y Carracedo (1993); Driver et al. (1996); Petrucci y Dibar Ure (2001).

Uno de [los] hallazgos colaterales de interés [en nuestra tesis de maestría] fue el constatar que los marcos conceptuales de la epistemología utilizados en la enseñanza de las ciencias y en la propia investigación didáctica son mayormente los propuestos por la llamada *nueva filosofía de la ciencia* durante las décadas de 1960 y 1970. Consecuentemente, se trata de modelos que, independientemente de su alto valor intrínseco para la educación científica, se hallan superados en muchos aspectos. Sumado a esto, se verificó que muchas de las transposiciones de conceptos epistemológicos utilizadas en la enseñanza de las ciencias son defectuosas o sobresimplificadas. Con ello, estamos en condiciones de avanzar el diagnóstico de que la educación *sobre* las ciencias en la escuela y en la universidad todavía no es del todo satisfactoria, a pesar de ser tenida como uno de los principales objetivos de la alfabetización científica. (p. 2; cursivas en el original)

Por último, en la sexta sección, se realiza un resumen del capítulo, en el que se presentan explícitamente los diversos elementos que *justifican* encarar la enseñanza de la epistemología *desde* la didáctica de las ciencias (Adúriz-Bravo, 2000a), y que por tanto dan sustento a la elección del tema de investigación correspondiente a nuestra tesis.

3.1 Meta-análisis de la línea NOS

Panorama actual de la línea que investiga las ideas acerca de la naturaleza de la ciencia en distintas poblaciones (NOS)	Dentro del escenario general de los esfuerzos por integrar la didáctica de las ciencias con la epistemología, se ha desarrollado en los últimos veinte años una línea de investigación que examina las concepciones epistemológicas de varias poblaciones, principalmente estudiantes y profesores de ciencias ⁴⁸ . Norman Lederman (1992) identifica cuatro <i>campos</i> de investigación muy activos en esta línea llamada NOS:
--	---

⁴⁸ Las siguientes son reseñas muy completas de los trabajos en esta línea: Lederman (1992, 1995); Matthews (1994a, 1998); Lederman et al. (1998); McComas, Almazroa y Clough (1998); McComas, Clough y Almazroa (1998); Porlán et al. (1998); Adúriz-Bravo (1999b, 1999c); Fernández Montoro (2000); Hugo y Adúriz-Bravo (en revisión).

1. el diagnóstico de las ideas de los estudiantes de ciencias acerca de la naturaleza de la ciencia,
2. el desarrollo curricular encaminado a mejorar las ideas de los estudiantes acerca de la naturaleza de la ciencia,
3. el diagnóstico de las ideas de los profesores de ciencias acerca de la naturaleza de la ciencia y las correspondientes propuestas para mejorar estas ideas, y
4. las relaciones entre las ideas de los profesores acerca de la naturaleza de la ciencia, la práctica en el aula de ciencias, y las ideas de los estudiantes acerca de la naturaleza de la ciencia.

Michael Matthews (1994a, 1998), William McComas y sus colaboradores (McComas, Almazroa y Clough, 1998; McComas, Clough y Almazroa, 1998), y Rafael Porlán (Porlán et al., 1998) realizan similares agrupaciones de la literatura que atiende a las concepciones epistemológicas de las distintas poblaciones. El primer autor añade, a los campos sugeridos por Lederman, tres más (Matthews, 1998: xii-xiii; la traducción es nuestra):

5. la influencia de las ideas de los estudiantes acerca de la naturaleza de la ciencia en su propio aprendizaje de las ciencias,
6. la evolución histórica de las ideas acerca de la naturaleza de la ciencia en el currículo de ciencias, y
7. el meta-análisis crítico de los diversos instrumentos de investigación disponibles para elicitación de las ideas acerca de la naturaleza de la ciencia en las distintas poblaciones.

<p>Nuestra tesis se inscribe en el <i>campo 3 de Lederman</i> (diagnósticos y propuestas NOS para el profesorado de ciencias)</p>	<p>Nuestra tesis intenta circunscribirse mayormente al tercero de los campos reseñados por Lederman. A partir de diagnósticos conocidos acerca de las ideas epistemológicas de los profesores de ciencias en formación y en activo, cuyos resultados se resumen y se valoran en la próxima sección, planteamos la necesidad de introducir la componente epistemológica en la formación inicial y continuada del profesorado de ciencias.</p>
---	--

Este planteo de naturaleza teórica es complementado con la recolección y construcción de lineamientos dirigidos a formular propuestas prácticas. Para nuestra propia formulación de propuestas de formación (aplicaciones), rescatamos ejemplos paradigmáticos de enseñanza de la epistemología, dirigidos principalmente a la población del profesorado de ciencias, y planteamos un aparato conceptual para valorar y transferir estos ejemplos.

Los desarrollos teóricos y los análisis empíricos que llevamos a cabo a lo largo de esta primera parte de la tesis, nos conducen a realizar una aportación al debate acerca de cuál es la epistemología más pertinente para la formación del profesorado de ciencias. Se reseñan también diversos elementos de juicio externos que permiten sustentar dicha aportación y evaluar nuestra contribución a la didáctica de la epistemología.

3.2 Ideas de los profesores de ciencias en formación y en activo acerca de la naturaleza de la ciencia

Proponemos una clasificación <i>cronológica</i> de los trabajos en la línea NOS	Existen tres trabajos de maestría y doctorado recientes (Fernández Montoro, 2000; Gwimbi, 2000; Salazar, 2000) que realizan una revisión extensiva de los antecedentes en la línea NOS, con un total de alrededor de cien referencias examinadas, principalmente enfocadas en la población del profesorado de ciencias. Nuestra intención no es repetir aquí esta colección de antecedentes, sino realizar brevemente un meta-análisis del conjunto de trabajos compilados por estos autores, resaltando los puntos de mayor importancia para los fines de nuestra tesis ⁴⁹ .
---	--

Para nuestra presentación de los antecedentes NOS, proponemos una secuencia *cronológica* estructurada en cuatro épocas, que abarcan el período 1970-2001. La

⁴⁹ Para complementar nuestra presentación pueden consultarse también las reseñas que hacen Lederman (1992), Duschl (1994), Mellado (1997), Lederman y otros (1998), McComas, Almazroa y Clough (1998), McComas, Clough y Almazroa (1998), Porlán y otros (1998), Gallego (1999), Adúriz-Bravo y Meinardi (2000), Bell y otros (2001) y Petrucci y Dibar Ure (2001).

primera época corresponde a los estudios inspirados en el paradigma de las *concepciones alternativas*, fundamental en la didáctica de las ciencias. La segunda época abarca los trabajos situados en la línea del *pensamiento del profesor*, originaria de la didáctica general. La tercera época es una modificación de la anterior que se dirige al estudio de la *actividad* del profesorado de ciencias en el aula (Porlán et al., 1998). La cuarta época, que corresponde a la década del '90, genera una importante cantidad de ideas teóricas y propuestas prácticas en estrecha interacción con las metaciencias académicas⁵⁰ (Monk y Osborne, 1997; Matthews, 1991a, 1998). La expansión de esta actividad de enlace entre la didáctica de las ciencias y la epistemología conduce incluso a la fundación de foros de intercambio y órganos de difusión específicos, de alcance internacional⁵¹.

3.2.1 Concepciones epistemológicas alternativas

Primera época: inspirada en las concepciones alternativas	Los primeros trabajos sistemáticos en la línea de la NOS, que reconoce antecedentes tempranos en la década del '60 e incluso anteriores (Matthews, 1998; Petrucci y Dibar Ure, 2001; Seroglou y Koumaras, 2001), pueden ubicarse en el contexto general de las llamadas <i>concepciones alternativas</i> (Hewson y Hewson, 1987, 1989; Driver et al., 1989; Gil-Pérez et al., 1991; Osborne y Freyberg, 1995). Estos trabajos pioneros utilizan el marco teórico desarrollado por, entre otros muchos autores, Rosalind Driver y Laurence Viennot, que es el que marca la constitución de la didáctica de las ciencias como disciplina científica autónoma (Sanmartí, 1995; Martínez Terrades, 1998; Adúriz-Bravo, 1999b, 1999/2000, en prensa-a; Izquierdo, 1999b; Gil-Pérez, Carrascosa y Martínez Terrades, 2000, 2001; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001c).
---	--

⁵⁰ Característica de esta cuarta época es la compilación de William McComas (1998b).

⁵¹ Por ejemplo, el *International History, Philosophy and Science Teaching Group* y su revista, *Science & Education*.

La hipótesis que guía esta primera época de estudios es que los profesores de ciencias (así como los estudiantes) poseen ideas muy arraigadas acerca de la naturaleza de la ciencia que son erradas desde la lógica disciplinar de la epistemología actual, y que obturan la posibilidad de nuevos aprendizajes. En este sentido, el concepto de concepción alternativa es heredero directo de los *obstáculos epistemológicos* de Bachelard (Gómez Moliné, 2001):

En fait, on connaît contre une connaissance antérieure, en détruisant des connaissances mal faites (...). (Bachelard, 1938: 13)

Además, y como se había hecho ya en el caso de las ideas científicas en varios dominios, los investigadores utilizan paradigmas perimidos de la epistemología (principalmente el neopositivismo, el positivismo lógico y la concepción heredada) para construir modelos de estos conjuntos de ideas alternativas (Cawthron y Rowell, 1978; Aguirre et al., 1990; Nott y Wellington, 1993, 1996, 1998b; Porlán et al., 1998; Kichawen, 2001), recurriendo así al paralelismo entre ontogenia y filogenia que ya aparece explorado en las obras de Gaston Bachelard y de Jean Piaget.

Un problema metodológico: cómo representar las ideas de los profesores de ciencias

A medida que se acumulan estos trabajos de *clasificación* de las ideas epistemológicas, surgen numerosos interrogantes, tanto en el plano teórico como en el metodológico. Desde el punto de vista teórico, una cuestión crucial y hasta hoy irresuelta es la del estatuto *ontológico* de las ideas de los profesores de ciencias. En este sentido, resulta objeto de debate entre los investigadores cuál es la *unidad de análisis* más idónea para modelizar el pensamiento del profesorado acerca de la naturaleza de la ciencia⁵².

En esta elección teórica entra en juego el modelo acerca de la estructura, funcionalidad y arraigo del metaconocimiento al que adhieren implícita o explícitamente los

⁵² Se han propuesto, entre otras unidades: ideas, imágenes, concepciones, modelos, teorías ingenuas, teorías implícitas (Brickhouse, 1989; Aguirre et al., 1990; Abell y Smith, 1994; Praia y Cachapuz, 1994; Koulaidis y Ogborn, 1995; Porlán, 1997; Porlán et al., 1998; Gwimbi, 2000;

investigadores (Adúriz-Bravo, Espinet et al., 2000). La adecuación de una unidad u otra tiene además una importante consecuencia para la formación del profesorado de ciencias, ya que en gran medida permite prever de antemano las dificultades que planteará el deseable *cambio conceptual* epistemológico.

Metodológicamente, también existen varias cuestiones discutidas e irresueltas. Una de ellas remite a la calidad de los instrumentos disponibles para elicitación de ideas acerca de la naturaleza de la ciencia en diversas poblaciones⁵³. Se ha criticado (Koulaidis y Ogborn, 1995; Fernández Montoro, 2000; Perafán, 2000; Adúriz-Bravo, Salazar et al., 2001) que la mayor parte de los instrumentos están sesgados por una visión previa del investigador acerca de la naturaleza de la ciencia. En este sentido, los instrumentos de investigación muestran una componente *normativa* que valora positivamente las visiones avanzadas de ciencia. A la vez, parten del presupuesto de que los estudiantes y los profesores de ciencias tienen ideas decididamente positivistas, y por tanto abundan en la confirmación de este modelo fijado de antemano, sin explorar los elementos que se apartan de él.

Andrés Perafán (2000, 2001) llega más allá en esta crítica, al cuestionar la pertinencia de la *concepción heredada* como modelo de análisis ampliamente difundido. Este autor propone, aunque de forma parcialmente sustentada, usar el modelo epistemológico llamado *ciencia de la complejidad* (García, 1988; Morin, 1997; Moreno, 2000) para dar cuenta de las ideas de los profesores de ciencias acerca de la naturaleza de la ciencia.

Actualmente hay <i>protocolos</i> que exploran las ideas sobre diversos aspectos de la naturaleza de la ciencia	Una segunda cuestión metodológica que se ha señalado es la de la <i>incompletitud</i> de los diagnósticos de ideas acerca de la naturaleza de la ciencia. Se ha mostrado que muchos de los instrumentos de investigación sólo exploran aspectos puntuales e inconexos sobre la ciencia, tales como la relación entre empiria y teoría, o los mecanismos de evolución científica
---	---

Perafán, 2000, 2001; Espinet et al., 2001).

⁵³ Lederman y otros (1998) hacen una colección exhaustiva de los instrumentos en inglés, proporcionando una valoración de muchos de ellos. Este análisis está traducido al castellano en Salazar (2000).

(Lederman et al., 1998; Fernández Montoro, 2000; Espinet et al., 2001; Gallego et al., 2001). Recientemente se han propuesto algunos instrumentos más amplios, que pretenden recoger el conjunto coherente y enlazado de los distintos rasgos que caracterizarían la ciencia⁵⁴.

Mick Nott y Jerry Wellington (1993, 1998b), por ejemplo, han diseñado un protocolo que tiene en cuenta cinco aspectos complementarios:

1. *ontología*, es decir, la cuestión del estatuto que se da al conocimiento científico sobre el mundo,
2. *epistemología*⁵⁵, esto es, sobre la certeza del conocimiento científico y las formas de conocer,
3. *axiología*, acerca del valor que se da al conocimiento científico,
4. *metodología*, sobre los modos de creación del conocimiento científico, y
5. *pedagogía*, acerca de qué aspectos del conocimiento científico deberían transmitirse.

Rescatamos el protocolo de Nott y Wellington para la formación epistemológica del profesorado de ciencias	Este protocolo ha sido utilizado con éxito en varias investigaciones NOS sobre profesores de ciencias en activo (Gwimbi, 2000; Kichawen, 2001), y también en instancias de formación epistemológica del profesorado de ciencias (Nott y Wellington, 1998a, 1998b).
---	--

Por su parte, los autores taiwaneses Guo y Hsu (1999) incluyen seis aspectos de la naturaleza de la ciencia en su protocolo de 35 preguntas:

1. los métodos de la investigación científica,
2. la naturaleza de la observación,
3. los patrones de desarrollo de la ciencia,

⁵⁴ Por ejemplo: Koulaidis y Ogborn (1989); Izquierdo (1990b); Nott y Wellington (1993, 1996); Sanmartí (1997); Espinet et al. (1998a, 1998b); Gallego (1999); Guo y Hsu (1999); Fernández Montoro (2000).

⁵⁵ Recuérdese que, según el uso general que damos a la palabra *epistemología* en este trabajo,

4. la demarcación de la ciencia,
5. el estatus del conocimiento científico, y
6. la imagen de la empresa científica.

Y Cotham y Smith (1981), en un estudio muy citado, examinan cuatro dimensiones epistemológicas: las implicaciones ontológicas⁵⁶, y la génesis, la elección y la comprobación de teorías.

Por último, una cuestión teórica y metodológica de gravedad es la endeble fundamentación de las categorías de análisis que plantean estos estudios, generalmente llevados a cabo por didactas de las ciencias con un conocimiento incompleto de la epistemología (Ryan y Aikenhead, 1992; Alters, 1997; Jiménez Aleixandre, 1997; Eflin et al., 1999)⁵⁷.

El apéndice 1 presenta nuestra propuesta de protocolo NOS

Como muestra para los lectores, en el primer apéndice de esta tesis se adjunta un protocolo de cuestionario (Adúriz-Bravo, 1998d) que hemos producido para elicitación de ideas acerca de la naturaleza de la ciencia en profesores de ciencias en formación. Este protocolo se ha elaborado a partir de los resultados de nuestro meta-análisis de la línea NOS.

Proponemos un instrumento que se inscribe dentro de la técnica *Likert*, común en los estudios en este campo (Lederman et al., 1998; Nott y Wellington, 1998b; Gwimbi, 2000; Salazar, 2000). Nuestro cuestionario explora diversos aspectos de la naturaleza de la ciencia, intentando relacionarlos entre sí.

este aspecto de la ciencia se llamaría para nosotros *gnoseología*.

⁵⁶ La ontología es parte de la epistemología, según nuestra definición de esta última (capítulo 2).

⁵⁷ Como ejemplo paradigmático de estos estudios mal fundamentados, podemos citar el trabajo de José Aguirre, Sharon Haggerty y Cedric Linder (1990).

El cuestionario NOS se acompaña con un protocolo completo de evaluación de los resultados, y un conjunto de referencias bibliográficas explicativas. Por ello, creemos que puede ser utilizado como herramienta didáctica en la formación epistemológica del profesorado de ciencias, desde una perspectiva *metacognitiva*. Esta idea de la *autoevaluación* crítica como primer paso en la formación la hemos tomado de Nott y Welligton (1998a)⁵⁸.

3.2.2 El pensamiento epistemológico del profesor

Segunda época: inspirada en el paradigma del pensamiento del profesor

En una segunda etapa, desde mediados de los años '80, los trabajos sobre las ideas acerca de la naturaleza de la ciencia se acercan a la línea del *pensamiento del profesor* (Mellado, 1997; Adúriz-Bravo, Espinet et al., 2000; Fernández Montoro, 2000; Espinet et al., 2001; Hugo y Adúriz-Bravo, en revisión), heredada de la didáctica general (Porlán, 1997; Porlán et al., 1998; Zabalza, 2001). En general, hay consenso entre los didactas de las ciencias alrededor de la utilización de un modelo multidimensional y dinámico del conocimiento profesional del profesor de ciencias, tal como el que plantea el didacta de la matemática alemán Robert Bromme (Bromme, 1988; Bromme y Tillema, 1995).

Dentro de este modelo, varios autores identifican la componente *metadisciplinar* (el conocimiento acerca de la naturaleza de la ciencia) como una de las principales en el sistema, ricamente relacionada a las demás (Mellado y Carracedo, 1993; Porlán y Rivero, 1998; Adúriz-Bravo, Salazar et al., 2001), y en posición privilegiada debido a su naturaleza *metadiscursiva* (Adúriz-Bravo, 1999b, 2000a; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany, en prensa) (figura 3.1).

Una línea derivada de esta atención al conocimiento profesional del profesorado es la que examina la forma en que los profesores de ciencias *transforman* el currículo al implementarlo en la práctica de aula, utilizando para ello sus modelos epistemológicos

⁵⁸ En el capítulo 6 se recoge, dentro de nuestra base de datos, la propuesta de estos autores.

(Duschl y Wright, 1989; Izquierdo, 1990a; Cronin-Jones, 1991; Duschl y Erduran, 1996; Porlán y Rivero, 1998; Gwimbi, 2000). En este sentido, el análisis de los modelos curriculares del profesorado de ciencias puede manifestar para el investigador sus concepciones implícitas acerca de la naturaleza de la ciencia:

En la aportación que realice a esta tarea [de reestructurar el currículo de ciencias] quedará reflejada sin duda la concepción última que el profesor posea sobre la fundamentación epistemológica de los distintos saberes, áreas y disciplinas, aspecto este que debe ser considerado como una de las fuentes en las que se sustenta y fundamenta el currículo. (Mellado y Carracedo, 1993: 332)

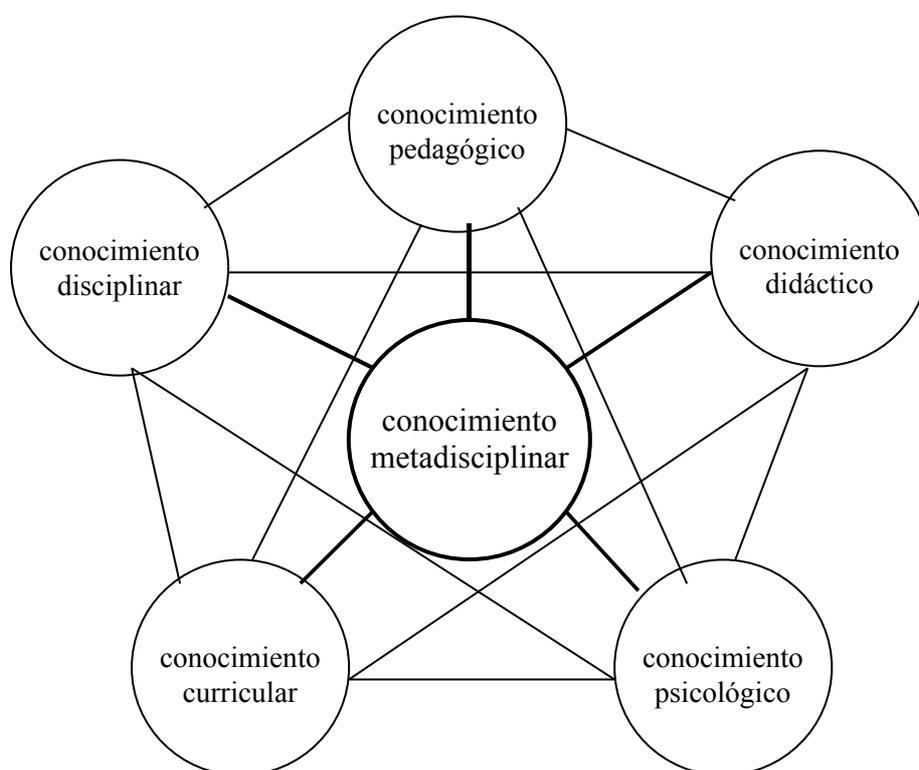


Figura 3.1 Modelo de pensamiento del profesor de ciencias, con múltiples dimensiones que interactúan entre sí. La dimensión metadisciplinar (epistemológica, histórica y sociológica de la ciencia) podría tener un poder estructurador del sistema (Adúriz-Bravo, 2000a).

De este modo, a través del análisis de las producciones escritas de los profesores de ciencias, obtendríamos una solución parcial a la cuestión metodológica que mencionamos más arriba, la cuestión de la *accesibilidad* al metaconocimiento.

Todavía no hay disponible un modelo *funcional* del pensamiento del profesor de ciencias En relación con esto, está el problema de investigar la manera en que los modelos epistemológicos interactúan con los modelos disciplinares, pedagógicos y didácticos que sustenta el profesorado de ciencias (Porlán et al., 1998). La dilucidación de la estructura interna de este sistema de saberes es condición necesaria para conseguir cambios duraderos y generales en esta población. Al respecto, dice Fernández Montoro (2000):

[N]o se trata únicamente de intentar transformar lo que los profesores (...) hacen en la clase: para que ello sea efectivo es necesario también cuestionar y modificar sus teorías implícitas acerca de (...) *cuál es la naturaleza del conocimiento científico*. (p. 16; cursivas en el original)

Esto es así porque algunas ideas fuertes acerca de la naturaleza de la ciencia que tienen los profesores de ciencias, ancladas en forma declarativa o tácita, están en el núcleo de sus modelos didácticos, que a menudo influyen en la toma de decisiones en el aula (Duschl y Wright, 1989; Izquierdo, 1990a; García Doncel, 1992; Matthews, 1994a; Duschl y Erduran, 1996; Porlán et al., 1998).

Desde otro enfoque, se destaca que la propia *estructura* (curricular, discursiva y material) de la clase de ciencias transmite imágenes sobre la naturaleza de la ciencia (Izquierdo, 1990a; Monk y Dillon, 2000), que a menudo están correlacionadas con las ideas del profesorado acerca de la naturaleza de la ciencia y las ideas acerca de la naturaleza de la ciencia que detenta el currículo o que aparecen en los libros de texto. Por ello, ha interesado estudiar en forma paralela y comparativa el currículo de ciencias en sus diferentes niveles de concreción (Izquierdo, 1990a; McComas y Olson, 1998), la actividad del profesor de ciencias en el aula y en el laboratorio (Aguirre et al., 1990; Gwimbi, 2000; Kichawen, 2001), y los textos y materiales didácticos que circulan en la educación científica obligatoria (Izquierdo y Rivera, 1997; Perales, 2000).

3.2.3 Fundamentación epistemológica de la práctica del profesorado de ciencias

La tercera época explora la coherencia teórico-práctica del profesorado de ciencias

El debate sobre si las ideas de los profesores de ciencias acerca de la naturaleza de la ciencia influyen o no su práctica en el aula, y mediante qué mecanismos concretos lo hacen (McComas, Clough y Almazroa, 1998; Porlán et al., 1998; Adúriz-Bravo, 1999b; Monk y Dillon, 2000), está actualmente en pleno apogeo. La *hipótesis de Robinson* (McComas, Clough y Almazroa, 1998; Adúriz-Bravo, 2000a):

It is assumed that a teacher's conception of the nature of science is an important force shaping his classroom behavior. (Robinson, 1969: 99)

ha constituido el acercamiento clásico a la cuestión, y está en la base de numerosas investigaciones primigenias⁵⁹. A ella se han opuesto una serie de trabajos⁶⁰ que intentan matizarla, planteando la necesidad de ulteriores estudios empíricos. De entre estos trabajos, destacamos los que plantean diferentes niveles o formas del conocimiento epistemológico, y que cuestionan la eficacia de los instrumentos de investigación disponibles para saber qué modelos epistemológicos se ponen realmente en acción en el aula (Izquierdo, 1992; Mellado, 1997; Porlán et al., 1998).

Cambiando el ángulo de esta discusión, Derek Hodson (1993) invierte los elementos del problema: plantea que un adecuado conocimiento acerca de la naturaleza de la ciencia es condición *necesaria* pero no suficiente para una mejora de la práctica profesional del profesorado. Se necesitaría una transformación profunda de todo el sistema de conocimiento de los profesores de ciencias, que además les dé modelos de práctica que ellos puedan hacer propios (Monk y Osborne, 1997). En este sentido, los trabajos de Briscoe (1991, 1993) sobre formación continuada constituyen un primer acercamiento a esta cuestión, que todavía está por estudiarse con profundidad.

⁵⁹ Por ejemplo: Carey y Stauss (1970); Ogunniyi (1982); Abimbola (1983).

⁶⁰ Entre otros: Lederman y Zeidler (1987); Lederman (1995); Mellado (1997); Lemberger et al. (1999); Gwimbi (2000).

3.2.4 El enfoque HPS

La cuarta época aborda el problema NOS con una mejor fundamentación epistemológica

Paralelamente a estos trabajos mencionados, se ha ido perfilando un diagnóstico acerca de la falta de interacción genuina de la didáctica de las ciencias con la epistemología y las otras metaciencias, del que ya nos hemos ocupado. En particular, muchos didactas de las ciencias coincidieron en señalar que el fracaso de las grandes reformas curriculares de los años '60 y '70 se debió, principalmente, a su débil fundamentación epistemológica, que alejaba la ciencia escolar de la ciencia erudita, aun cuando se pretendía precisamente lo contrario (Gutiérrez, 1985, 1987; Aliberas, 1987, 1989; Yager, 1992; Adúriz-Bravo, 1999/2000).

Ahora bien, la creciente incorporación de la epistemología a la didáctica de las ciencias que se ha verificado en los últimos veinte años como reacción a esta situación adversa, ha transformado las concepciones teóricas y las propuestas prácticas en diversos ámbitos (Matthews, 1991a, 1991b; Jiménez Aleixandre, 1997; McComas, 1998b). Entre ellos, destaca por su importancia el de la formación del profesorado de ciencias:

La historia, filosofía y sociología de la ciencia no tienen todas las soluciones (...) pero sí tienen algunas respuestas: pueden humanizar las ciencias y acercarlas más a los intereses personales, éticos, culturales y políticos; pueden hacer las clases más estimulantes y reflexivas, incrementando así las capacidades del pensamiento crítico; pueden contribuir a una comprensión mayor de los contenidos científicos; pueden contribuir un poco a superar el “mar de sinsentidos” en que un comentarista dijo se habían engolfado las clases de ciencias, donde se recitaban fórmulas y ecuaciones, pero donde pocos conocían su significado; *pueden mejorar la formación del profesorado contribuyendo al desarrollo de una epistemología de la ciencia más rica y más auténtica*, esto es, a un mejor conocimiento de la estructura de la ciencia y su lugar en el marco intelectual de las cosas. (Matthews, 1994a: 256; las cursivas son nuestras)

Desde la producción teórica se reconoce, entonces, que el profesorado de ciencias es uno de los instrumentos privilegiados para mediar en la integración entre la epistemología y la educación científica que es necesaria para alcanzar los objetivos proclamados en todos los niveles educativos. De allí la importancia que están tomando aquellos estudios didácticos que, de una forma más integradora y rigurosa, intentan revisar los diferentes aspectos de la educación epistemológica del profesorado de ciencias⁶¹.

La consolidación de este enfoque integrador HPS, relativamente independiente de la línea tradicional de diagnóstico NOS que veníamos reseñando, es promisoria para el futuro de la didáctica de la epistemología. Este enfoque también recupera el importante trabajo que se hizo desde el *movimiento CTS*, que estuvo en boga hace una década, y que generó propuestas de fundamentación epistemológica de la educación científica (Alambique, 1995; Izquierdo, 1999b; Marco-Stiefel, 2000).

3.3 Necesidad de introducir la dimensión epistemológica en la formación del profesorado de ciencias⁶²

El currículo de ciencias prescribe aprender también acerca de la ciencia

En la didáctica de las ciencias, existe un reconocimiento de que la formación en la epistemología debería ser una de las componentes de la educación científica general de la población. Hoy en día se concede, en el ámbito académico, una importancia similar al aprendizaje de los contenidos y procedimientos científicos y al aprendizaje acerca de la propia naturaleza de la ciencia, su evolución, y su relación con la sociedad y la cultura (AAAS, 1989; Matthews, 1994a, 1994b; Driver et al., 1996; Duschl, 1997; McComas, Clough y Almazroa, 1998; Millar y Osborne, 1998; Koertge, 1998; Kolstø, 2000). En palabras de

⁶¹ Entre otros muchos: Jiménez Aleixandre (1995); Duschl (1997); McComas (1998b); Nott y Wellington (1998b); Bianchini y Colburn (2000); Solbes y Traver (2001); Paixão y Cachapuz (2001).

⁶² Esta sección sigue en parte el texto de uno de nuestros artículos (Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany, en prensa).

Michael Matthews:

[L]a enseñanza de las ciencias debería ser una enseñanza sobre la ciencia, así como en la ciencia. Usando la terminología del currículo nacional británico, los estudiantes de ciencias en la secundaria deberían aprender algo sobre la “naturaleza de la ciencia”, así como el contenido de la ciencia propiamente dicha. (Matthews, 1994a: 256)

Consecuentemente, los currículos de ciencias de muchos países han comenzado a incorporar recomendaciones y contenidos que apuntan en esta dirección (Matthews, 1994a, 1998; McComas y Olson, 1998). La educación epistemológica es, por tanto, reconocida mundialmente como un objetivo importante de la educación obligatoria, por su capacidad democratizadora de informar las decisiones científico-tecnológicas de la población general (AAAS, 1989; Monk y Osborne, 1997; Millar y Osborne, 1998; Kolstø, 2000; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany, 2001; Villamañán y Adúriz-Bravo, 2001).

Este reconocimiento de la importancia de la epistemología en la educación científica se traduce naturalmente en la necesidad de introducir los contenidos epistemológicos en el currículo de formación inicial y continuada del profesorado de ciencias. Entre otras muchas cosas, la epistemología ayuda a los profesores a explicitar, comunicar y estructurar sus ideas acerca de la naturaleza de la ciencia (Cleminson, 1990; Mellado y Carracedo, 1993; Porlán y Rivero, 1998; Adúriz-Bravo, 1999b; Izquierdo, 1999b) y, consecuentemente, puede derivar en una mejora de su desempeño profesional⁶³.

⁶³ En este sentido, afirmamos a modo de hipótesis de trabajo que la dimensión metadisciplinar (epistemológica, histórica y sociológica de la ciencia) es una de las parcelas fundamentales del conocimiento profesional del profesorado de ciencias, capaz de dar estructura y coherencia a las demás (Adúriz-Bravo, 2000a, 2000b; Adúriz-Bravo, Salazar et al., 2001).

Remitimos a los diagnósticos NOS (sección 3.2) Ahora bien, los diversos diagnósticos que hemos mencionado⁶⁴, han detectado en el profesorado ideas acerca de la naturaleza de la ciencia que no se corresponden con las que actualmente sostiene la epistemología⁶⁵; ni siquiera están completamente adecuadas a los modelos epistemológicos formales elaborados durante la primera mitad del siglo XX, como puede ser el positivismo lógico. Más bien, las ideas de los profesores de ciencias acerca de la naturaleza de la ciencia son cercanas a las que se sustentan desde el sentido común, es decir, a aquellas detentadas por la mayor parte del público no especializado (Pomeroy, 1993; Gil-Pérez, Carrascosa, Gallego y Fernández Montoro, 2000):

[L]a imagen de la ciencia que poseen los docentes se diferenciaría poco de la que pueden expresar los estudiantes o cualquier ciudadano. (Fernández Montoro, 2000: 53)

Además, estas ideas se organizan en sistemas de baja coherencia lógica interna, que no excluyen ambigüedades y contradicciones (Hodson, 1993). Y por último, estas ideas pueden ser inconsistentes con el pensamiento del profesor acerca de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (Appleton y Asoko, 1996; Porlán y Rivero, 1998). Al ser puesto este último en primer plano, se obliteraría la capacidad de las ideas epistemológicas de tener incidencia real en la práctica del aula de ciencias.

En el contexto general de estos diagnósticos, McComas (1998c) señala quince *mitos* acerca de la naturaleza de la ciencia que están profundamente arraigados en la práctica del profesorado de ciencias en todo el mundo. Dichos mitos son particularmente importantes por sus consecuencias negativas en la imagen de la ciencia que se transmite

⁶⁴ Clásicos: Cotham y Smith (1981); Koulaidis y Ogborn (1989, 1995); Aguirre et al. (1990); Aikenhead y Ryan (1992); Lederman (1992). Recientes: Gallego (1999); Gwimbi (2000); Adúriz-Bravo, Espinet et al. (2000); Adúriz-Bravo, Salazar et al. (2001); Kichawen (2001); Petrucci y Dibar Ure (2001).

⁶⁵ Estos diagnósticos de ideas NOS insuficientes en el profesorado de ciencias correlacionan con estudios sobre la inadecuación epistemológica de los currículos y de los textos de ciencias (Izquierdo, 1990a, 2000b; Monk y Osborne, 1997).

en la escuela. Los mitos reseñados por este autor (McComas, 1998c: 54-68; la traducción es nuestra) se recogen en la primera columna de la figura 3.2.

Con el mismo espíritu, diversos investigadores del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la Universitat de València⁶⁶ han identificado una serie de “imágenes deformadas” acerca de la naturaleza de la ciencia que están ampliamente difundidas en la sociedad. Fernández Montoro (2000: 45-47) presenta las que se recogen en la segunda columna de la figura 3.2.

Por nuestra parte (Adúriz-Bravo, Salazar et al., 2001: 315), hemos seleccionado un conjunto de ideas inadecuadas o insuficientes acerca de la naturaleza de la ciencia, que se han utilizado como categorías de análisis en una investigación acerca del conocimiento profesional de los aspirantes a profesorado de educación infantil⁶⁷. Estas ideas se recogen en la tercera columna de la figura 3.2.

Ideas acerca de la naturaleza de la ciencia en profesores de ciencias		
McComas	Fernández Montoro	Adúriz-Bravo y otros
1. Las hipótesis se transforman en teorías, que a su vez se transforman en leyes.	1. Visión empirista y ateorica.	1. Relación lineal y unidireccional (<i>inductiva</i>) entre empiria y teoría.
2. Las leyes científicas y otras ideas similares son absolutas.	2. Visión rígida (algorítmica, exacta, infalible,...).	2. Criterios únicamente lógicos en la verificación o falsación de hipótesis.
3. Una hipótesis es una <i>conjetura (educated guess)</i> .	3. Visión aproblemática y ahistórica (ergo dogmática y cerrada).	3. Visión realista ingenua de la correspondencia entre conocimiento y realidad.
4. Existe un método científico general y universal.	4. Visión exclusivamente analítica.	4. Visión <i>teleológica</i> del avance científico.
	5. Visión acumulativa, lineal.	5. Exageración de la objetividad científica.
	6. Visión individualista.	
	7. Visión “velada” y elitista.	
	8. Visión descontextualizada,	

⁶⁶ Solbes y Vilches (1992); Carrascosa et al. (1993); Gil-Pérez (1993); Fernández Montoro y Orozco (1995); Gallego (1999); Gil-Pérez, Carrascosa, Gallego y Fernández Montoro (2000); Gallego et al. (2001).

⁶⁷ Ver: Salazar (2000); Espinet et al. (2000); Espinet et al. (2001).

<p>5. La evidencia acumulada cuidadosamente resultará en conocimiento seguro.</p> <p>6. La ciencia y sus métodos proveen una prueba absoluta.</p> <p>7. La ciencia es procedimental más que creativa.</p> <p>8. La ciencia y sus métodos pueden responder cualquier pregunta.</p> <p>9. Los científicos son particularmente objetivos.</p> <p>10. Los experimentos son la ruta principal hacia el conocimiento científico.</p> <p>11. Las conclusiones científicas son revisadas para ver su exactitud.</p> <p>12. La aceptación del nuevo conocimiento científico es directa.</p> <p>13. Los modelos científicos representan la realidad.</p> <p>14. La ciencia y la tecnología son idénticas.</p> <p>15. La ciencia es una empresa solitaria.</p>	<p>socialmente neutra.</p>	<p>6. Visión rígida del método científico.</p> <p>7. Visión <i>acumulacionista</i> del progreso científico.</p>
---	----------------------------	---

Figura 3.2 Imágenes acerca de la naturaleza de la ciencia detectadas entre el profesorado de ciencias. Se consignan los resultados de tres trabajos de meta-análisis.

Para atacar estas ideas empobrecidas y construir una visión más rica de la ciencia que ayude a su enseñanza, resulta necesario seleccionar y transponer algunos contenidos de la epistemología e introducirlos en la formación inicial del profesorado de ciencias,

relacionándolos fuertemente con los propios contenidos de ciencias y con los de la didáctica específica (Jiménez Aleixandre, 1995; Izquierdo, 1998a, 1998c, 1999b; Adúriz-Bravo, 2000a, 2000b).

Referimos a los capítulos 4, 5 y 6 En esta tesis presentamos un esquema para sustentar y organizar la selección curricular de los contenidos epistemológicos dirigida especialmente a la formación inicial del profesorado de ciencias. Luego aplicamos este aparato conceptual para analizar propuestas escritas de enseñanza de la epistemología para el profesorado y el estudiantado de ciencias que han sido generadas por varios autores.

El fin de nuestro análisis es contribuir a la *transferibilidad* de las propuestas dentro de la comunidad de didactas de las ciencias.

Dentro de la didáctica de las ciencias, la enseñanza de la epistemología per se y como auxiliar de las propias ciencias ha ocupado durante mucho tiempo un lugar marginal, y aunque la reflexión teórica sobre esta cuestión está expandiéndose rápidamente en la literatura especializada (Matthews, 1991a; Duschl, 1994; McComas, 1998b; Bell et al., 2001; Seroglou y Koumaras, 2001), aún queda mucho por hacer en lo que atañe a la generación de propuestas prácticas (Monk y Osborne, 1997; Matthews, 1998), tanto para el aula de primaria, secundaria y bachillerato, como para la formación del profesorado de ciencias:

Although there has been a long tradition of theoretical writing on the subject, of establishing the cultural, educational and scientific benefits of teaching about the nature of science – just how this is to be put into practice has been less attended to. (Matthews, 1998: xi)

Existen muchos modelos epistemológicos para la formación del profesorado de ciencias Un problema para llevar la epistemología a la educación científica, surge de las diferentes visiones que actualmente coexisten acerca de la naturaleza de la ciencia dentro de la propia disciplina académica, algunas de ellas fuertemente contradictorias entre sí (Estany, 1993; Echeverría, 1995, 1999;

Aibar, 1997; Koertge, 1998; Eflin et al., 1999):

In spite of significant progress toward characterizing science, much disagreement remains. (McComas, Clough y Almazroa, 1998: 5)

En el ámbito de la didáctica de las ciencias, esta pluralidad de fuentes se traduce en un acalorado debate acerca de la epistemología más pertinente para el currículo de ciencias y para la correspondiente formación del profesorado de ciencias, que reconoce muchas posiciones encontradas (Herron, 1969; Izquierdo, 1990a; Stinner, 1992; Duschl, 1994; Driver et al., 1996; Alters, 1997; Eflin et al., 1999). Muchas veces se han dado respuestas excesivamente simples a esta cuestión importante, influenciadas por un desconocimiento parcial, por parte de los didactas de las ciencias, de la historia de la epistemología del siglo XX (Ryan y Aikenhead, 1992; Alters, 1997; Jiménez Aleixandre, 1997; Adúriz-Bravo, 1999c), y por el peso del constructivismo como paradigma didáctico triunfante (Matthews, 1994c, 1995, 1997; Adúriz-Bravo, 1999b).

Creemos que se deben seleccionar modelos epistemológicos más allá del *constructivismo* En este sentido, queremos desmarcarnos de la postura simplificadora que opone a la epistemología tradicional de corte positivista un conjunto de visiones de carácter sociohistórico, agrupadas bajo el nombre general de *constructivismo* (radical)⁶⁸. Sostenemos aquí que la epistemología actual dispone de un conjunto matizado de visiones de utilidad para la didáctica de las ciencias, que no necesariamente se sitúan en uno de estos dos extremos:

The choice is not, as it is often put, simplistic understanding of science, or constructivist understanding of science. (Matthews, 1998: xvi)

La epistemología es una disciplina muy activa cuya producción académica se ha organizado en varias escuelas de investigación en competencia conceptual⁶⁹. Se hace necesario entonces realizar una selección de contenidos metacientíficos provenientes de

⁶⁸ Como se hace en Nussbaum (1989), Mellado y Carracedo (1993), y Porlán y otros (1998).

⁶⁹ Ver al respecto: Estany (1993); Klimovsky (1994); Losee (1997); Echeverría (1999);

estas escuelas que resulte teóricamente coherente, y a la vez adecuada a las finalidades generales de la educación científica y a los modelos didácticos de las ciencias disponibles (Duschl y Erduran, 1996; Izquierdo, 1999b).

La <i>transposición</i> de la epistemología para la formación del profesorado de ciencias debería hacerse de acuerdo con los <i>valores</i> de la didáctica de las ciencias	Esta selección más bien pragmática puede no corresponderse completamente con los desarrollos punteros de la epistemología, o combinar elementos que provienen de escuelas metacientíficas con bases teóricas en contradicción (Adúriz-Bravo, 1999b; Izquierdo, 1999b). En este sentido, estamos de acuerdo con cierto grado de distorsión <i>funcional</i> de la epistemología para adecuarla a los fines de la didáctica de las ciencias, que es el mismo que aceptamos como lícito en el caso de las propias ciencias naturales durante el proceso de transposición didáctica.
---	--

McComas, Clough y Almazroa (1998) sugieren que disponemos actualmente de una visión más o menos *consensuada*, dentro de la didáctica de las ciencias, sobre los contenidos mínimos acerca de la naturaleza de la ciencia que es conveniente incorporar en la educación obligatoria (entre los 5 y los 16 años). 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 las décadas del '60 y '70, y representada por los nombres de Thomas Kuhn, Imre Lakatos y Stephen Toulmin. Las afirmaciones son:

- Scientific knowledge, while durable, has a tentative character.
- Scientific knowledge relies heavily, but not entirely, on observation, experimental evidence, rational arguments, and skepticism.
- There is no one way to do science (therefore, there is no universal step-by-step scientific method).
- Science is an attempt to explain natural phenomena.
- Laws and theories serve different roles in science, therefore students should note that theories do not become laws even with additional evidence.
- People from all cultures contribute to science.
- New knowledge must be reported clearly and openly.

Rosenberg (2000).

- Scientists require accurate record keeping, peer review and replicability.
- Observations are theory-laden.
- Scientists are creative.
- The history of science reveals both an evolutionary and revolutionary character.
- Science is part of social and cultural traditions.
- Science and technology impact each other.
- Scientific ideas are affected by their social & historical milieu. (McComas, Clough y Almazroa, 1998: 6-7)

Podemos ver la diversidad y los diferentes niveles de concreción de las ideas acerca de la naturaleza de la ciencia que estos autores recogen. Sin embargo, la mayor parte de estas ideas corresponde, como ya se indicó, a modelos epistemológicos creados entre 1930 y 1975. En este sentido, constituye un desafío para la investigación en didáctica de las ciencias la incorporación gradual de modelos más recientes y la exploración de sus implicaciones para la educación científica (Jiménez Aleixandre, 1997). Este trabajo de *actualización* epistemológica ha sido ya iniciado por algunos autores⁷⁰, pero es todavía incipiente e incompleto.

Las ideas acerca de la naturaleza de la ciencia se han de implementar en actividades con contenidos de ciencias

Estas ideas básicas sobre la naturaleza de la ciencia que hemos recogido, y algunas más propuestas por otros autores, pueden ser llevadas al currículo científico general y especializado y a la formación del profesorado de ciencias por medio de una serie de actividades didácticas de distinto formato, preferiblemente *centradas en los contenidos específicos de ciencias* (Jiménez Aleixandre, 1995; Matson y Parsons, 1998; Izquierdo, 1999b), que permiten la reflexión acerca de la ciencia, su desarrollo y su papel en la sociedad, sin exigir el despliegue de modelos teóricos complejos provenientes de los debates especializados de la epistemología académica.

En esta primera parte de la tesis, nuestro objetivo es recoger tales actividades con el fin

⁷⁰ Por ejemplo: Abimbola (1983); Cleminson (1990); Aliberas (1994); Duschl (1997); Izquierdo (1996a, 1998a, 1999b, 2000a); Adúriz-Bravo (1999b).

de realizar sobre ellas un análisis que contribuya a instalarlas y difundirlas en la didáctica de las ciencias. Al mismo tiempo, queremos exponer un aparato conceptual que deje al descubierto algunos posibles criterios de selección y adaptación de estas actividades, para contribuir a la creciente profesionalización de profesores de ciencias y didactas de las ciencias. Las aplicaciones de la segunda parte de la tesis, a su vez, constituyen nuestra contribución a la tradición de propuestas de enseñanza de la epistemología.

3.4 Recuperación de prácticas *valiosas* para enseñar la epistemología

Queremos recuperar prácticas de enseñanza de la epistemología en la educación científica	Como ya se ha dicho, el acercamiento actual entre la didáctica de las ciencias y la epistemología se verifica desde diversos frentes más o menos coordinados entre sí, que tienen consecuencias en nuestra concepción de la formación inicial del profesorado de ciencias:
--	--

Hay algunos aspectos destacables en este acercamiento. El más significativo, con mucho, es la inclusión de contenidos de historia y filosofía de la ciencia en varios currículos educativos nacionales. (...) No se trata de la inclusión de HFC (historia y filosofía de la ciencia) como un ítem más de los contenidos, sino más bien la incorporación general de temas de HFC a las expectativas de los contenidos y enseñanzas de los currículos. (...) *Estos avances tienen significativas implicaciones en la formación del profesorado.* (Matthews, 1994a: 256; las cursivas son nuestras)

En efecto, hemos afirmado que existe acuerdo en la comunidad de didactas de las ciencias acerca de la prioridad de una sólida educación epistemológica del profesorado de ciencias en formación y en activo. Así lo expresa Isabel Fernández Montoro (2000):

[E]l cambio de las ideas deformadas de la naturaleza de la ciencia y del trabajo científico por otras más acordes con las concepciones actuales de filósofos e historiadores de la ciencia, aparece como una condición necesaria en la que coinciden ya un importante número de investigadores. (p. 23)

Para contribuir a la tarea de instalar la epistemología en el ámbito del profesorado de ciencias, esta primera parte de la tesis coordina dos discursos paralelos que se apoyan mutuamente. Por un lado, se presentan elementos que proveen el sustento conceptual; por otro, se seleccionan reconceptualizaciones escritas de prácticas educativas existentes que condicen con aquel sustento y son capaces de ejemplificarlo en forma poderosa, económica y coherente⁷¹. Se trata de un intento de *valorizar* la labor diaria de los profesores de ciencias en el aula, buscando hacerla inteligible y comunicable (Izquierdo, 1999b).

Referimos al modelo del profesor de ciencias como <i>tecnólogo</i> (segunda y tercera aplicaciones)	Sin embargo, debemos recalcar el hecho de que nuestro análisis composicional de las prácticas está centrado <i>sobre el texto escrito</i> por el cual los autores dan a conocer y someten a juicio sus propuestas de formación epistemológica. Por tanto, debe matizarse nuestra afirmación acerca de que las propuestas didácticas que seleccionamos para nuestro estudio son consideradas <i>prácticas valiosas</i> .
---	---

En la didáctica de las ciencias es común la transferencia de prácticas concretas por medio de objetivaciones escritas que, desde luego, dejan de lado muchos aspectos de implementación, como por ejemplo las condiciones de realización particulares de cada caso y los condicionamientos curriculares y evaluativos (Monk y Osborne, 1997). En este sentido, dadas las propuestas de enseñanza, recaen en el propio profesor de ciencias como *tecnólogo* (Adúriz-Bravo, Duschl e Izquierdo, en revisión) las tareas de evaluación de su aplicabilidad y de adaptación al contexto particular (Hofstein, 2001; Woolnough, 2001)⁷².

⁷¹ Este es el concepto de *ejemplo paradigmático* (Izquierdo, 1999b), que se mencionó en la introducción a la tesis como nuestro marco metateórico.

⁷² Esta cuestión es crucial para el análisis de las propuestas de enseñanza, pues exige la determinación de los que, a nuestro juicio, serían los indicios de la calidad epistemológico-didáctica de estas propuestas.

3.5 Qué epistemología para el profesorado de ciencias

Se plantea la idea del *cambio conceptual* epistemológico

La didáctica de la epistemología, como campo de problemas dentro de la propia didáctica de las ciencias, plantea dificultades e interrogantes similares a aquellos relacionados con la enseñanza de los contenidos científicos. En este sentido, podemos inscribir las cuestiones de formación epistemológica del profesorado de ciencias en el campo más amplio del *cambio conceptual*, cuya complejidad es bien conocida⁷³.

Dada esta complejidad, y habida cuenta de los múltiples intentos de cambiar el conocimiento profesional del profesor de ciencias en sus varias dimensiones, es natural pensar que nos hallamos frente a una tarea difícil. Es por ello que cuestionamos las afirmaciones de Fernández Montoro (2000) que hacen aparecer este cambio conceptual de la dimensión metacientífica como una tarea relativamente sencilla, basadas en la suposición de que las concepciones epistemológicas del profesorado de ciencias se condicen con una imagen *folk*, socialmente impuesta y poco arraigada.

Las afirmaciones de esta autora al respecto están expresadas en su *segunda hipótesis*, redactada en dos versiones:

los profesores [de ciencias] podemos (...) construir, con relativa facilidad, conocimientos coherentes con la epistemología actual. (p. 54; cursivas en el original)

y:

las concepciones reduccionistas y deformadas [de los profesores de ciencias] acerca de la actividad científica evolucionarán sin excesivas dificultades hacia las tesis de la epistemología actual. (p. 56; cursivas en el original)

Atendiendo a los resultados negativos que la línea NOS reseña ampliamente, y conociendo los estudios que hablan de la persistencia de las concepciones alternativas

⁷³ Ver al respecto: Nussbaum (1983, 1989); Nersessian (1989, 1992); Carey (1992); Chi (1992);

en diversos ámbitos⁷⁴, es poco probable que los cambios de modelo epistemológico en el profesorado de ciencias se puedan verificar a través de una exposición limitada a los desarrollos más actuales de la epistemología. En todo caso, estamos de acuerdo con Fernández Montoro (2000) en que los cambios en el pensamiento y la actividad del profesorado de ciencias son graduales, y que el salto al nivel metateórico que implica explicitar y criticar las propias ideas sobre la naturaleza de la ciencia (Nott y Wellington, 1998a), es ya capaz de iniciar un reacomodamiento de esas ideas, que debe ser luego reforzado mediante otras actividades de formación epistemológica (Gil-Pérez, Carrascosa, Gallego y Fernández Montoro, 2000; Gallego et al., 2001).

La selección de la epistemología a enseñar se ha hecho por medio de postulados epistemológicos. Ahora bien, frente a la aceptación de esta necesidad de cambio del conocimiento profesional del profesor de ciencias, cabe preguntarse acerca de qué criterios de selección y adaptación usar con respecto a los modelos epistemológicos eruditos disponibles. Una respuesta ampliamente difundida, especialmente en la investigación didáctica anglosajona, es la de los *postulados (tenets)* epistemológicos, que son afirmaciones sencillas acerca de diversos aspectos de la naturaleza de la ciencia, pretendidamente consensuadas por epistemólogos, didactas de las ciencias y profesores de ciencias.

En esta línea, existen numerosos trabajos que enumeran postulados de distinto grado de generalidad y pertinencia⁷⁵. Un ejemplo potente de este procedimiento son los catorce postulados compilados por McComas, Clough y Almazroa (1998) a partir de un amplio trabajo de meta-análisis de la literatura didáctica de las ciencias, postulados que reproducimos textualmente más arriba.

Sin embargo, en la realidad dista de haber consenso entre los didactas de las ciencias acerca de la universalidad de estos u otros postulados. De hecho, Brian Alters (1997)

Pozo (1999a, 1999b); Soto y Sanjosé (2001); Tamayo (2001).

⁷⁴ Ver: Pessoa de Carvalho (1994); Soto y Sanjosé (2001); Tamayo (2001).

⁷⁵ Como referencia para los lectores, los trabajos de Alters (1997), McComas, Clough y Almazroa (1998), McComas y Olson (1998), Bianchini y Colburn (2000), y Fernández Montoro

tiene un trabajo en el cual muestra las gravísimas objeciones que epistemólogos profesionales hacen a la calidad, actualidad y generalidad de muchos de los postulados.

La precariedad epistemológica de los postulados formulados por los didactas de las ciencias puede ejemplificarse para los lectores analizando dos de los que hemos enumerado antes:

1. *El nuevo conocimiento debe ser dado a conocer clara y abiertamente.* En este postulado aparece una postura normativa (señalada por el *deber ser*), que sería parcialmente incompatible con el estudio naturalista de la ciencia propugnado por la epistemología actual (Giere, 1985; Almeder, 1993; Loving, 1997; Ambrogi, 2000)⁷⁶.
2. *Los científicos son creativos.* La atribución de características especiales y positivas a los miembros de la comunidad científica es un rasgo del pensamiento del sentido común que refuerza imágenes *elitistas* de la ciencia (Porlán et al., 1998; Gil-Pérez, Carrascosa, Gallego y Fernández Montoro, 2000; Gallego et al., 2001; Manassero y Vázquez, 2001)⁷⁷.

Más allá del debate acerca de los postulados, la tarea de transposición didáctica de la epistemología plantea también otras varias cuestiones. En los próximos apartados revisamos brevemente cuatro de esas cuestiones, que son las de *multiplicidad*, *actualidad*, *adaptabilidad* y *funcionalidad* de los modelos epistemológicos seleccionados.

(2000) recopilan listados de postulados disponibles en la didáctica de las ciencias.

⁷⁶ En líneas generales, la epistemología actual tiende a ser naturalista y no-normativa, pero hay autores, como Larry Laudan (1998), que consideran que naturalismo y normatividad son compatibles y además deseables.

El apartado 3.5.5 recoge un primer intento de respuesta a qué epistemología enseñar

En el último apartado de esta sección, exponemos nuestra primera respuesta al problema acerca de qué epistemología enseñar a los futuros profesores de ciencias. Nuestra respuesta se articula en doce *criterios* para guiar la formación. Estos criterios se van desarrollando y sustentando luego a lo largo de la tesis.

3.5.1 Multiplicidad de los modelos epistemológicos

Actualmente disponemos, como se dijo, de una cantidad importante de modelos epistemológicos, surgidos en el seno de numerosas escuelas en competencia; es así que

cabe hablar de una proliferación de concepciones sobre la ciencia, sin que haya ninguna central ni determinante. (Echeverría, 1995: 12)

Esta variedad de concepciones epistemológicas contemporáneas aparece en el contexto de una oposición teórica unánime al positivismo lógico, que dominó la escena epistemológica durante cuarenta años:

[S]e trata en realidad de (...) una diversidad de enfoques que tienen en común una crítica a la “concepción heredada”. (Izquierdo, 2000a: 40)

A partir de esta oposición se han generado nuevos modelos epistemológicos y

se ha producido un importante debate que ha modificado profundamente el concepto de *ciencia* y que tiene consecuencias muy importantes para la didáctica de las ciencias. (Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999: 47; cursivas en el original)

⁷⁷ Compárese este postulado con el noveno “mito” de McComas (figura 3.2).

Varios
didactas
de las ciencias
proponen
combinar
fuentes
epistemológicas
en la
formación
del profesorado
de ciencias

Ya hace más de treinta años, Dudley Herron (1969) enfatizaba la importancia de examinar y discutir la incidencia de los diferentes puntos de vista surgidos en este debate para el ámbito de la didáctica de las ciencias. Hoy se trata de escoger, de entre los modelos epistemológicos disponibles, aquellos más pertinentes para la educación científica:

En este ajuste entre las diferentes aportaciones dejaremos de lado algunos planteamientos y seleccionaremos otros.
(Izquierdo, 2000a: 38)

En este sentido, estamos de acuerdo con Matthews (1998) en que, dada la diversidad de puntos de vista de la epistemología actual, es importante para la didáctica de las ciencias intentar combinarlos, a fin de evitar posiciones monolíticas que caigan en el dogmatismo.

Además de las ideas consensuadas que presentan McComas, Almazroa y Clough (1998), reseñadas más arriba, muchos otros autores recopilan o exponen las cuestiones epistemológicas que a su juicio son más válidas desde la perspectiva de la didáctica de las ciencias y más útiles para enriquecer la labor del profesorado de ciencias⁷⁸. Por ejemplo, Matthews (1994a) reseña algunas de las ideas acerca de la naturaleza de la ciencia favorecidas curricularmente en Gran Bretaña y los Estados Unidos:

1. la relación entre *argumentos* y *evidencias*,
2. el desarrollo de las ideas científicas en su contexto general,
3. las *controversias* científicas,
4. la objetividad,
5. el método científico,
6. explicación y predicción,
7. organización social de la ciencia, y
8. la ética científica.

⁷⁸ Ver al respecto: Driver et al. (1996); Matthews (2000); Monk y Dillon (2000).

Por su parte, Fernández Montoro (2000) habla de una *visión correcta de la actividad científica*, que estaría caracterizada por los siguientes puntos (páginas 31-36):

1. Rechazo de la idea rígida de método científico.
2. Rechazo de las formas extremas de empirismo e inductivismo.
3. Reconocimiento del papel jugado por el pensamiento divergente en la investigación.
4. Acento en la búsqueda de coherencia y globalidad como característica de la ciencia.
5. Comprensión del carácter social del desarrollo científico.

Y Rafael Porlán (Porlán et al., 1998) propone para la educación científica una imagen *alternativa* de la ciencia que es relativista moderada, constructivista y evolucionista. Esta imagen describe la ciencia como una actividad

condicionada social e históricamente, llevada a cabo por científicos (individualmente subjetivos pero colectivamente críticos y selectivos), poseedores de diferentes estrategias metodológicas que abarcan procesos de creación intelectual, validación empírica y selección crítica, a través de las cuales se construye un conocimiento temporal y relativo, que cambia y se desarrolla permanentemente. (p. 278)

Esta pequeña muestra nos permite ver que la didáctica de las ciencias ha recogido de la epistemología caracterizaciones *alternativas* de la naturaleza de la ciencia, no todas internamente coherentes o compatibles entre sí. Ante esta diversidad, cabe preguntarse acerca de cuáles son los criterios teóricos más idóneos para efectuar la selección de los contenidos epistemológicos, y también acerca de dónde proviene la justificación para tales criterios.

La concepción basada en modelos fundamenta la combinación pragmática de modelos epistemológicos

Nuestra respuesta a esta pregunta es, en términos de Izquierdo (1990b, 1999b, 2000a), una respuesta *pragmática*, guiada por los valores de la didáctica de las ciencias. Este pragmatismo se condice con nuestra aproximación cognitiva, basada en modelos, a la epistemología.

3.5.2 Actualidad de los modelos epistemológicos

En la didáctica de las ciencias, muchas veces se califica de “actual” a la nueva filosofía de la ciencia (1960-1975)

Las ideas epistemológicas presentadas por los autores que hemos mencionado han demostrado tener amplio valor en la didáctica de las ciencias⁷⁹; creemos que esto es poco cuestionable desde los objetivos que hemos planteado para la epistemología dentro de la educación científica. Sin embargo, casi todos los didactas de las ciencias presentan estas ideas como tesis “actuales” de la epistemología académica⁸⁰, afirmación esta que debería ser, a nuestro juicio, revisada críticamente.

Por ejemplo, Noretta Koertge, en un curso de epistemología para estudiantes universitarios redactado en 1989, presenta el *falsacionismo* popperiano como el modelo epistemológico actual óptimo para la enseñanza⁸¹. Para esta autora, el objetivo central del curso es el abandono de las visiones empirista o racionalista a ultranza del sentido común, en favor de una visión hipotético-deductiva de *conjeturas y refutaciones*, que sintetiza y supera las otras dos:

Molts filòsofs de la ciència *actuals* creuen que les dues, experiència i raó, juguen un paper important en la ciència. La raó (o la nostra imaginació), ens proporciona hipòtesis especulatives; l'experiència ens ajuda a rebutjar-ne les falses. (Koertge, 1990: 13; las cursivas son nuestras)

Koertge no es la única autora que utiliza modelos epistemológicos de antes de la segunda guerra mundial para la formación de los científicos, los profesores de ciencias,

⁷⁹ Ver al respecto: Abimbola (1983); Cleminson (1990); Izquierdo (1990a); Adúriz-Bravo (1999b); Adúriz-Bravo, Badillo et al. (en prensa).

⁸⁰ Ver por ejemplo las citas a Isabel Fernández Montoro (2000) que recogimos más arriba.

⁸¹ Nótese que no estamos cuestionando el valor de la epistemología *racionalista crítica* para la educación científica; de hecho, creemos que el modelo hipotético-deductivo es potente para aumentar el rigor de pensamiento y de discurso de los estudiantes y profesores de ciencias. Lo que criticamos es que esta epistemología, mal calificada de actual, desplace otras visiones que pueden ser igualmente valiosas.

los filósofos de la ciencia, o el público en general. En efecto, dentro de la didáctica de las ciencias, varios trabajos muy citados⁸² identifican la nueva filosofía de la ciencia de los '60 como la epistemología más adecuada para la educación científica. La abundancia de estos ejemplos podría ser una llamada de atención acerca de la insuficiente fundamentación epistemológica de la didáctica de las ciencias (Adúriz-Bravo, 1999c, 2000a).

Ya en un trabajo anterior (Adúriz-Bravo, 1999c), señalábamos los siguientes puntos:

1. Algunas adaptaciones de la epistemología que se usan en la didáctica de las ciencias son insuficientes o inadecuadas.
2. Las escuelas epistemológicas actuales ocupan un lugar marginal en la didáctica.
3. Se pueden tomar diferentes elementos teóricos de la epistemología con un criterio pragmático guiado por los valores de la didáctica. (p. 3)

Mercè Izquierdo proporciona un ejemplo del uso de un modelo epistemológico contemporáneo en la formación del profesorado de ciencias

Unos pocos autores han intentado integrar en la didáctica de las ciencias modelos epistemológicos de los últimos veinte años⁸³. Mercè Izquierdo, por ejemplo, enumera algunas características de la *concepción semántica* de las teorías científicas que ella recomienda introducir en el ámbito de la educación científica:

1. Theories are considered to be the most important entities of science, and are constructed and modified in an attempt to interpret the world, not just to describe it.
2. The culture of the moment and the characteristics of the social group in which the theories are elaborated influence them and the vision of the world they provide.
3. These theories do not necessarily have to be axiomatic and can be identified with models or even with analogies.
4. They adhere to a non-representative realism in which experimentation has also an important and decisive role.
5. They acknowledge the difficulty in identifying a single scientific method: not only scientists have admitted diverse practices depending on the era and the problem to be

⁸² Nussbaum (1989), y Mellado y Carracedo (1993) son el epítome de este proceder.

⁸³ Por ejemplo: Abimbola (1983); Aliberas (1994); Jiménez Aleixandre (1995); Duschl y Erduran (1996); Duschl (1997); Adúriz-Bravo (1999b); Izquierdo (2000a).

investigated, but also in their investigations, which do not reflect the classical stages of experimentation, forming of hypotheses, announcing laws and theories, ordering concepts in hierarchical way, etc. (Izquierdo, 1995a: 107)

Esta tesis contiene un intento de exponer modelos epistemológicos recientes y actuales, desarrollándolos a través de ejemplos paradigmáticos disponibles para enseñarlos. Se procura mostrar también que estos modelos complementan los que hasta el momento eran usados dentro de la didáctica de las ciencias.

3.5.3 Adaptabilidad de los modelos epistemológicos

La selección de la epistemología a enseñar implica una *adaptación* profunda

Una tercera cuestión a la hora de importar modelos epistemológicos para usarlos en la didáctica de las ciencias es la del proceso de *adaptación* que estos deben atravesar para adecuarse a los contextos, valores y objetivos de la educación científica. Esta cuestión de la aceptabilidad de las transformaciones sobre los modelos eruditos ha sido estudiada con gran detalle en el caso de la *historia de la ciencia*, en el seno de un importante debate acerca de su inclusión en el currículo de ciencias⁸⁴.

Desde la propia didáctica de las ciencias, se produjeron propuestas de gran valor que integraban el uso de episodios históricos (como los *casos, debates y controversias*) (Duschl, 1997; McComas, 1998b). Sin embargo, muchas de estas propuestas fueron duramente criticadas por el uso descontextuado, simplificado o anacrónico de los episodios históricos (Bizzo, 1993; Lombardi, 1997; Monk y Osborne, 1997). Nosotros creemos que estas críticas desconocen el hecho de que las propuestas didácticas en cuestión no tratan de enseñar la propia historia de la ciencia como disciplina. La idea es utilizarla para potenciar la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias y, al mismo tiempo, proveer una imagen acerca de la evolución de las ciencias que tenga *valor educativo* (Izquierdo, 1998c).

⁸⁴ Ver: Klein (1972); Brush (1974, 1979, 1991); Siegel (1979); Bizzo (1993); Lombardi (1997).

Otro tanto puede decirse de la epistemología cuando se la utiliza para completar y mejorar la educación científica general. La transposición didáctica que se haga de la epistemología debe estar naturalmente *en congruencia* con algunos de los lineamientos actuales de la epistemología académica, pero no es necesario para ello recoger los modelos eruditos en su total integridad y formalismo. Sostener lo contrario sería contradictorio con nuestra posición teórica acerca de la enseñanza de las ciencias naturales: la ciencia escolar es coherente con la ciencia erudita, pero no se reduce a una copia linealmente derivada de ella.

En este sentido, consideramos fundamental preguntarnos *qué demandamos a la epistemología* en la formación inicial y continuada del profesorado de ciencias. A su vez, queremos que los profesores de ciencias se apropien de esta cuestión y la trasladen a la educación científica. Se trata de combinar un tratamiento riguroso de la epistemología de todos los tiempos con una alta versatilidad en el proceso de transposición didáctica de esa disciplina.

3.5.4 Funcionalidad de los modelos epistemológicos

La epistemología seleccionada para la formación del profesorado de ciencias debería ayudar a mejorar su práctica profesional

Con *funcionalidad* de los modelos epistemológicos, nos queremos referir a la capacidad que tienen estos de jugar un papel significativo tanto en la propia educación científica como en la formación del profesorado de ciencias. Para conseguir este objetivo, puede ser importante considerar una epistemología *coherente* con la actividad científica escolar, en sintonía con el conocimiento profesional del profesorado de ciencias, y supeditada a las metas y valores generales de la educación científica (Adúriz-Bravo, 1999b; Izquierdo, 2000a).

El trabajo ya clásico de Martin Monk y Jonathan Osborne (1997) critica duramente el grueso de las propuestas disponibles para la incorporación de las metaciencias en la educación científica, debido a su falta de conexión con los objetivos y valores que sostiene el profesorado de ciencias. Como ejemplo, estos autores citan el caso de la revista *Science & Education*, que podría ser el órgano natural de difusión de estas

propuestas, y que aparece hoy “secuestrada por la academia” (página 408), con propuestas inviables totalmente alejadas de la práctica real en el aula de ciencias.

Pensamos que la atención a la funcionalidad de la epistemología ha de ser, junto con la consideración de su valor para la educación científica, el criterio que guíe la formulación de propuestas de formación epistemológica del profesorado de ciencias. En esta línea, queda mucho trabajo por hacer en la didáctica de las ciencias; este trabajo implica estudiar la epistemología para luego apropiarla y adaptarla.

3.5.5 Nuestra propuesta

Proponemos doce criterios para seleccionar la epistemología para la formación del profesorado de ciencias

Los criterios de selección de la epistemología para la formación del profesorado de ciencias que consideramos más importantes son los siguientes:

1. En principio, todas las escuelas epistemológicas tienen algo valioso para la educación científica, y ninguna debe ser excluida a priori de la selección. En este sentido, nos parece importante rescatar algunos modelos epistemológicos positivistas y relativistas, descentrándolos de sus matrices epistémicas inadecuadas para la educación científica⁸⁵, y evidenciando su interés para que los profesores de ciencias piensen sobre la ciencia.
2. Necesitamos una organización jerárquica de los contenidos epistemológicos seleccionados. Esta organización comienza por los grandes *campos teóricos estructurantes* de la disciplina; los campos, a su vez, agrupan los *tópicos epistemológicos* clásicos. Los tópicos se instrumentan en *ideas epistemológicas clave*, que por su parte se especifican en *postulados* como los que hemos recogido en esta tesis. Los *modelos epistemológicos*, provenientes de diversas *escuelas*, surgen como respuesta a los tópicos, y se ejemplifican con *episodios* concretos de la historia de la ciencia (figura 3.3).

⁸⁵ En el primer caso, *cientificista*, y en el segundo, *irracionalista*.

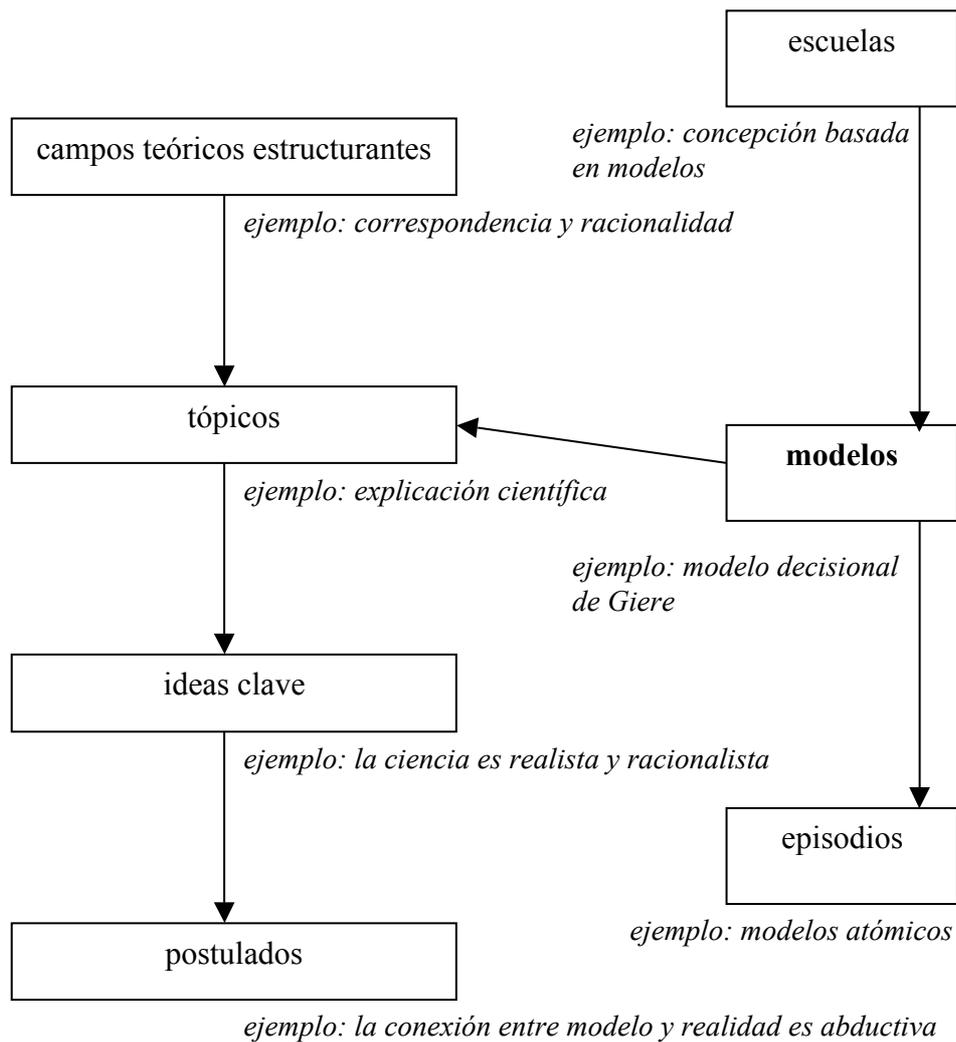


Figura 3.3 Jerarquía de los contenidos epistemológicos seleccionados para la educación científica y la formación del profesorado de ciencias. Se consignan ejemplos de las categorías, correspondientes a la primera aplicación de la tesis (capítulo 9).

3. La selección de modelos epistemológicos debe hacerse teniendo en claro los objetivos didácticos que ellos satisfacen: si se trata de modelos para conocer por su valor intrínseco, modelos para pensar sobre la ciencia, o modelos para aprender mejor ciencias. Determinar los objetivos es condición necesaria para plantear unas actividades y una evaluación coherentes.
4. La principal aportación a la componente metateórica de la educación científica ha de provenir de la epistemología. La historia de la ciencia puede proveer una *ambientación (setting)* poderosa para los modelos epistemológicos, pero sus

propios modelos teóricos son menos interesantes para la educación científica (Duschl, comunicación privada).

5. El currículo de ciencias ha de formularse teniendo en cuenta el *equilibrio* entre las componentes científica y metacientífica. Las metaciencias, por una parte, pueden integrarse a las expectativas de logro de los propios contenidos, sin pasar a constituir *más* contenidos (Matthews, 1994a; Monk y Osborne, 1997), y, por otra parte, pueden constituir aportaciones culturales para la formación general.
6. Reclamamos máxima libertad en el proceso de selección, adaptación y combinación de los modelos epistemológicos eruditos para la educación científica. Sin distorsionar la epistemología, la transponemos para adecuarla a los objetivos y valores de la didáctica de las ciencias.
7. La enseñanza de la epistemología ha de realizarse de acuerdo a un modelo didáctico generativo que sintonice con el que se emplea en la enseñanza de los propios contenidos científicos.
8. Proponemos una atención prioritaria a los modelos epistemológicos generales, aplicables a todas las ciencias, pero sugerimos enseñarlos aplicados a contenidos científicos particulares, no como formalismos. Los modelos epistemológicos específicos que se han creado para dar cuenta de problemáticas particulares de las disciplinas son, en principio, menos potentes en la educación científica para todos.
9. Los contenidos epistemológicos seleccionados deberían ser esencialmente los mismos para todos los niveles de la educación científica, regulando el grado de complejidad con que se traten. Consecuentemente, los contenidos epistemológicos seleccionados para la formación del profesorado de ciencias deberían ser más o menos similares, tanto si se trata de maestros de educación infantil y primaria, o de profesores de secundaria, bachillerato, educación terciaria y universidad.
10. La formación epistemológica inicial del profesorado de ciencias puede instrumentarse en cursos de ciencias, de metaciencias y de didáctica de las ciencias. Estos últimos han de ser el contexto privilegiado, porque pueden proporcionar una íntima unión entre todas estas disciplinas que alcance funcionalidad.
11. La matriz epistémica para la formación epistemológica del profesorado de ciencias ha de ser *realista* y *racionalista*. Creemos que esta visión es la única compatible con los objetivos proclamados para la educación científica.

12. La formación epistemológica del profesorado de ciencias debería tener una componente *metacognitiva*; esto es, los profesores de ciencias deberían reflexionar sobre la incidencia de las metaciencias en su propia práctica profesional.

3.6 ¿Para qué enseñar la epistemología desde la didáctica de las ciencias?

Cinco razones para la formación epistemológica del profesorado de ciencias

A lo largo de este capítulo, hemos introducido cinco razones para justificar el estudio del problema de la enseñanza de la epistemología en una tesis doctoral que se presenta dentro del área de conocimiento de la didáctica de las ciencias. Es conveniente enumerar aquí estas razones como referencia para los lectores y como resumen del capítulo.

En un primer lugar, la aceptación de la existencia de un registro epistemológico en la didáctica de las ciencias como disciplina⁸⁶, hace necesario que los didactas de las ciencias, que somos mayoritariamente profesores de ciencias, nos formemos o actualicemos en el conocimiento de los modelos epistemológicos (figura 3.4). Esta sustentación de la formación epistemológica es la que subyace a la segunda aplicación de nuestra tesis.

En segundo lugar, la ampliación del objeto de estudio de la didáctica de las ciencias a todas las transposiciones de las ciencias naturales *con valor educativo*, hace necesario considerar también la enseñanza de las metaciencias, que están indisolublemente asociadas a ellas según un modelo *contextual* de ciencias (Echeverría, 1995, 2000, 2001), y participan de lo que hemos llamado su *cinturón metateórico* (Adúriz-Bravo, 1999b) (figura 3.5). Es decir, la reflexión didáctica sobre las ciencias está incompleta si no incluye la consideración de la componente epistemológica (Sanmartí, 1995; Astolfi et al., 1997; Izquierdo, 1999b; Leach, 2001).

⁸⁶ El modelo de registros se presenta en la segunda aplicación.

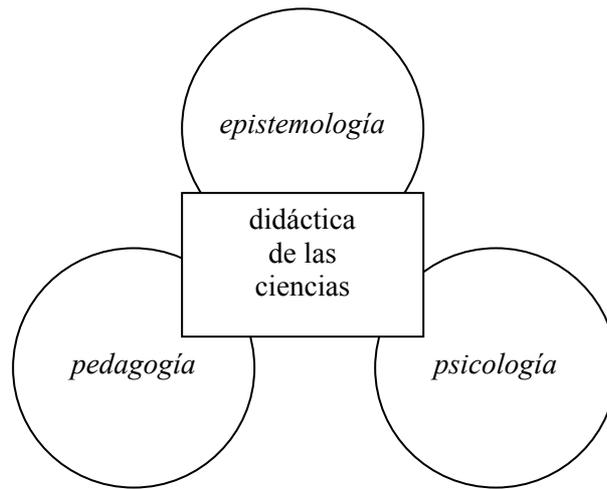


Figura 3.4 La existencia de un registro epistemológico en la didáctica de las ciencias conlleva la necesidad de que los didactas de las ciencias nos formemos en la epistemología.

En tercer lugar, los didactas de las ciencias han puesto de manifiesto el poderoso carácter *instrumental* de la epistemología, que contribuye a mejorar muchos aspectos de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (Izquierdo, 1990a; Pessoa de Carvalho, 1994; Driver et al., 1996; Monk y Osborne, 1997) (figura 3.6).

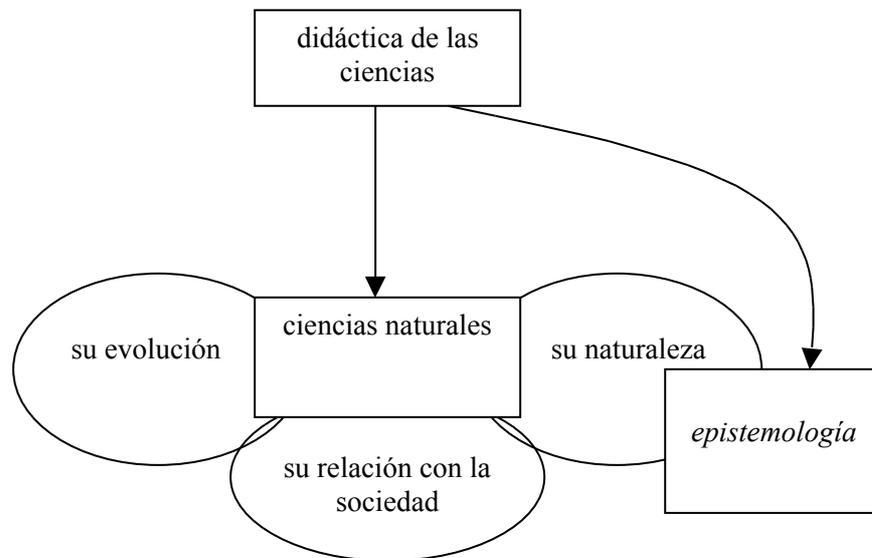


Figura 3.5 La didáctica de las ciencias reconoce como objetos de estudio propio las ciencias y también sus metaciencias asociadas.

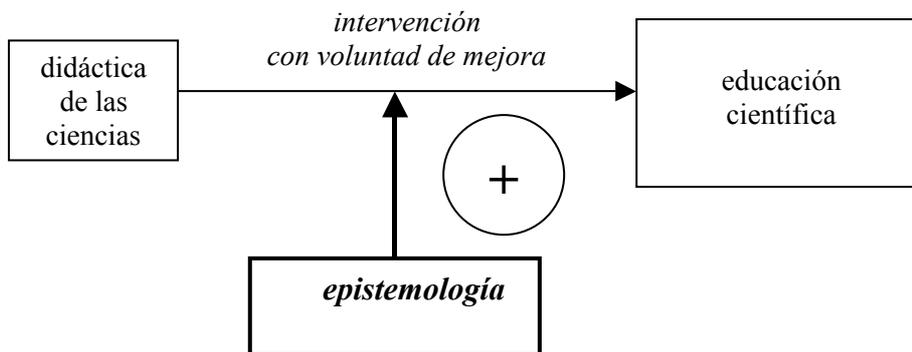


Figura 3.6 Carácter instrumental de la epistemología para la didáctica de las ciencias (Adúriz-Bravo, 2000a).

En cuarto lugar, hemos hablado de los diseños curriculares *postmodernos* (Martins, 2001), que incorporan, junto a los contenidos científicos propiamente dichos, los contenidos acerca de la naturaleza de la ciencia, su evolución, y sus relaciones con la sociedad y la cultura. Estos contenidos provienen en parte de la epistemología, así como de otras disciplinas metacientíficas (figura 3.7).

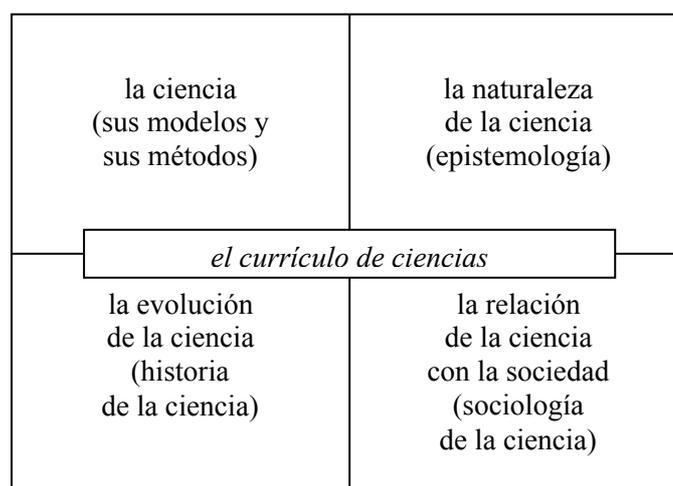


Figura 3.7 La epistemología es fuente de contenidos para el currículo de ciencias.

Referimos al modelo *estructural* del conocimiento profesional del profesorado de ciencias (sección 3.2)

Y por último, desde el punto de vista de la formación del profesorado de ciencias, hemos planteado la hipótesis de que la epistemología es una dimensión importante del conocimiento profesional del profesor, de carácter fuertemente *metacognitivo* (Adúriz-Bravo, Badillo et al., en prensa) (figura 3.1).

Estas cinco razones, íntimamente combinadas, justificarían la presencia de una componente epistemológica en la educación científica *para todos*, y por tanto, generarían la necesidad de estudiar la formación epistemológica de las diversas poblaciones, con especial énfasis en los aspirantes a profesorado de ciencias.

De allí el interés por instaurar la *didáctica de la epistemología* como área de investigación por derecho propio dentro de la didáctica de las ciencias. Se trata, además, de un área de investigación poco desarrollada, que necesita urgentemente de aportes teóricos, empíricos y prácticos, a los que deseamos contribuir.

Capítulo 4

Dimensiones para el análisis de la componente epistemológica en la formación del profesorado de ciencias⁸⁷

El área HPS ha generado propuestas prácticas de enseñanza de la epistemología, que queremos analizar

En la comunidad de la didáctica de las ciencias, el reconocimiento de que la epistemología es una de las componentes fundamentales del conocimiento profesional del profesor de ciencias, ha dado paso en los últimos diez años a la discusión de un conjunto de *criterios* teóricos (*racionales*, como se conocen en inglés) y a la elaboración de una serie de propuestas prácticas para la enseñanza de la epistemología (McComas, 1998b; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001b, 2001f), cuyo estudio resulta de interés para cumplir los objetivos de investigación de esta tesis.

En la tarea de sentar lineamientos para una mejora de la enseñanza de la epistemología al profesorado de ciencias, hemos decidido rescatar las producciones de otros autores comprometidos con el mismo empeño. Pero al hablar de *producciones anteriores*, nos queremos referir no tanto a los antecedentes teóricos estrictos de nuestro trabajo, sino más bien a las prácticas educativas que pueden nutrirlo. Con ello queremos establecer una relación sustantiva entre la didáctica de las ciencias académica y el propio oficio de enseñar ciencias, que es tan antiguo como la ciencia misma (Izquierdo, 1999b). Esta relación nos permite ser coherentes con un modelo *tecnocientífico* de la didáctica de las ciencias⁸⁸. El modelo tecnocientífico valora la *intervención* activa sobre el mundo (que, en el caso de la didáctica de las ciencias, es la educación científica) como punto de partida para la construcción de conocimiento teórico.

⁸⁷ Este capítulo retoma parte del texto de dos de nuestros trabajos (Adúriz-Bravo, en prensa-d; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany, en prensa).

⁸⁸ Este modelo se presenta en la segunda aplicación de la tesis.

Sobre la base de un análisis *valorativo* de los materiales empíricos que exponen las prácticas educativas que recuperamos, podemos establecer algunas recomendaciones en el campo de la didáctica de la epistemología.

Presentamos trece dimensiones para analizar las propuestas

En este capítulo presentamos una serie de *dimensiones* de análisis generales y específicas, con las cuales es posible estudiar las diversas propuestas de enseñanza de la epistemología que hemos recolectado. Nuestro estudio empírico tiene como uno de sus fines importantes encontrar, en la muestra, patrones comunes y elementos generalizables y transferibles, que contribuyan a mejorar la formación epistemológica del profesorado de ciencias.

Por razones de claridad, hemos estructurado nuestras dimensiones de análisis en tres conjuntos relativamente independientes:

1. *Dimensiones informativas*. Proveen información de índole general, que sirve para caracterizar las propuestas de enseñanza de la epistemología y hacer más fácil su identificación, clasificación y recuperación⁸⁹.
2. *Dimensiones curriculares*. Surgen de aplicar a las propuestas las preguntas curriculares clásicas (Mialaret, 1969, 1981; Coll, 1988, 1989; Sanmartí, 1995; Izquierdo, 1999b): ¿a quién enseñar epistemología?, ¿cuándo y dónde enseñarla?, ¿para qué enseñarla? y ¿cómo enseñarla?⁹⁰. La pregunta sobre *qué* epistemología enseñar adquiere una importancia central en nuestro análisis y necesita de un conjunto completo de dimensiones, que se expone en el siguiente punto.
3. *Dimensiones de contenido*. Estas dimensiones, al ser combinadas entre sí, proporcionan un análisis de la estructura interna de las propuestas; pretenden hacer más fácil el trabajo de recontextualización, adaptación y diseño. Las dimensiones de contenido, además, pueden contribuir a identificar *ejemplos paradigmáticos* de

⁸⁹ Las dimensiones informativas son importantes para poder realizar en un futuro, si se desea, la *informatización* de esta base de datos de propuestas (Fischer, comunicación privada).

⁹⁰ Consideramos que las preguntas sobre *evaluación* están implícitas en estas cuatro.

enseñanza de la epistemología, dejando de esta forma al descubierto criterios que guíen tal tarea.

Desarrollamos cada uno de estos tres conjuntos en las secciones siguientes, definiendo cada dimensión e indicando sus posibles valores.

4.1 Dimensiones informativas

Las *dimensiones informativas* permiten configurar una base de datos de las propuestas

Son cinco, de definición casi trivial. Proveen datos para la identificación de las propuestas. Las dos primeras dimensiones:

1. *autor*, y
2. *título*,

hacen referencia a los autores y títulos de las fuentes escritas dentro de las cuales se presenta cada propuesta de enseñanza de la epistemología a la comunidad de didactas de las ciencias (por tanto, *fuentes secundarias*).

En el caso de disponer de varias fuentes, hemos consignado los datos de la más completa. A consecuencia de esta elección, los títulos que aparecen en nuestra base de datos no necesariamente coinciden con los de las actividades didácticas originales propiamente dichas, que a veces pueden no tener nombre.

Las otras tres dimensiones informativas son:

3. *idioma*,
4. *fuentes*, y
5. *formato*.

La dimensión de formato (Adúriz-Bravo, 2001a) proporciona información sobre el soporte formal de las propuestas, y muestra una enorme variedad: desde unidades didácticas semipublicadas, hasta trabajos de investigación en didáctica de las ciencias, pasando por tesis de maestría y doctorado, presentaciones en congresos,

recomendaciones en currículos nacionales, programas de cursos, libros de ejercicios y problemas⁹¹.

4.2 Dimensiones curriculares

Las *dimensiones curriculares* responden a las preguntas que, dónde y cuándo, para qué, y cómo Las diferentes propuestas que han aparecido durante el siglo XX para enseñar la epistemología en el ámbito de la educación científica general, pueden ser estudiadas de acuerdo a cuatro dimensiones que resultan de interés teórico por su capacidad para ubicarlas dentro de la didáctica de las ciencias. Estas dimensiones son las *poblaciones*, los *contextos*, las *finalidades* y los *métodos* de cada propuesta (figura 4.1), y se corresponden respectivamente con las preguntas curriculares clásicas: ¿a quién enseñar?, ¿dónde y cuándo enseñar?, ¿para qué enseñar? y ¿cómo enseñar?, aplicadas a la epistemología. En los apartados que siguen desarrollamos estas dimensiones⁹².

4.2.1 Las poblaciones

Se puede enseñar la epistemología a estudiantes, profesores de ciencias y didactas de las ciencias Aunque esta tesis está específicamente centrada en la formación del profesorado de ciencias, existen varias poblaciones de aprendices que reciben la atención de la didáctica de las ciencias, y a quienes se desea enseñar la epistemología por sus distintos valores.

Las diversas poblaciones que son objeto de formación epistemológica muestran grandes diferencias entre sí; estas diferencias tienen evidentemente implicaciones en la naturaleza de las propuestas curriculares que se dirijan a esas poblaciones. Sin embargo, hay algunos elementos básicos, comunes a todas ellas, que nos permiten afirmar que

⁹¹ La variedad de formatos existente puede comprobarse revisando las propuestas compiladas en el cuarto apéndice de la tesis.

⁹² Nuestra presentación puede complementarse con la lectura de: Adúriz-Bravo (2000b); Adúriz-Bravo e Izquierdo (2000a, 2000b); Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany (en prensa).

nuestra propuesta específica para el profesorado de ciencias se puede generalizar a una didáctica de la epistemología.

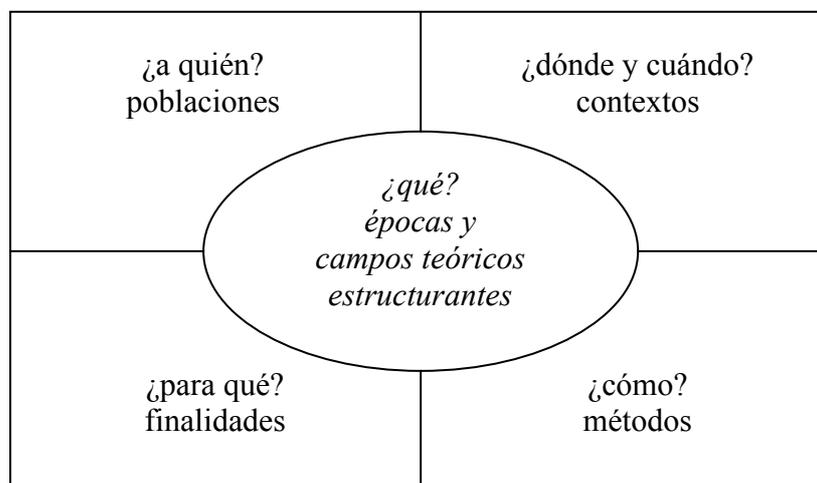


Figura 4.1 Esquema de análisis curricular de las propuestas de enseñanza de la epistemología. En esta sección se presentan las cuatro dimensiones externas (poblaciones, contextos, finalidades y métodos).

Por una parte, tenemos a los *estudiantes de ciencias* desde la educación infantil hasta el nivel universitario avanzado. Entre ellos, podríamos distinguir la población general que atraviesa la escolarización obligatoria (5 a 16 años), y las poblaciones que reciben enseñanza especializada o periférica en ciencias en las etapas del bachillerato y la universidad. A nivel universitario, una nueva distinción podría ser hecha entre quienes reciben una formación científica complementaria a sus estudios (ingenieros, médicos), y quienes se titularán en una disciplina científica en particular.

Como ya se indicó, actualmente existe un amplio consenso entre los miembros de la comunidad de la didáctica de las ciencias acerca de que es necesario enseñar epistemología a *todos* los integrantes de esta primera población. Este planteamiento se realiza desde dentro de la propia educación científica y, por tanto, la epistemología queda integrada de forma más o menos íntima a la enseñanza de los contenidos, procedimientos y actitudes científicas desde las primeras etapas de la escolarización (Matthews, 1994a, 1998; Millar y Osborne, 1998; Adúriz-Bravo, 1999b).

Remitimos a la idea de *universalidad* de la formación epistemológica en la educación científica (capítulo 3) Sugerimos que todos los estudiantes de ciencias, tanto en la educación general como en la educación especializada, *deberían ser formados, en líneas generales, en los mismos contenidos epistemológicos* (Adúriz-Bravo, en prensa-d). Naturalmente, los objetivos de la formación epistemológica serán muy distintos según los niveles y modalidades del sistema educativo donde se lleve a cabo, y ello influirá en el grado de generalidad, complejidad y formalización con que se traten esos contenidos.

Esta *universalidad* del currículo epistemológico es una idea novedosa que algunos autores no compartirían. Hay al menos dos cuestiones dificultosas para aceptarla. Por una parte, está el problema de lo que llamamos *contenidos epistemológicos relacionados y anclados* (Adúriz-Bravo, 2000a; Adúriz-Bravo y Erduran, 2001). Para desplegar una reflexión epistemológica específica, esto es, centrada en contenidos de ciencias, es necesario conocer dichos contenidos con cierta fluidez y profundidad. Esto sólo puede ocurrir después de muchos años de educación científica.

Otro elemento que conspira en contra de llevar las mismas ideas epistemológicas a todas las poblaciones, es el hecho de que estas constituyen una reflexión *sobre* la ciencia como discurso y actividad. Por tanto, requieren habilidades cognitivas y lingüísticas muy elaboradas, que se van generando a lo largo de la propia educación científica.

Una segunda población está constituida por el *profesorado de ciencias*, como se sugirió anteriormente. Esta población se solapa en parte con la primera, ya que, en muchos países, la formación del profesorado de ciencias para secundaria es equivalente o similar a la de los propios científicos. Sin embargo, creemos que es conveniente distinguir ambas poblaciones, tanto desde el punto de vista de nuestro análisis, como a la hora de seleccionar los contenidos específicos de la epistemología.

Recuperamos la necesidad de que el profesorado de ciencias reflexione sobre el papel de la epistemología en su propia práctica (capítulo 3)

En este sentido, sugerimos que los profesores de ciencias deberían iniciarse en una visión de segundo orden de las relaciones entre la epistemología y la educación científica, que afronte de manera explícita la cuestión *instrumental* de mejorar la calidad de su práctica profesional utilizando en forma consciente e intencionada los logros de esa primera disciplina (Izquierdo, 1999b; Adúriz-Bravo, 2000a).

Dentro de la población del profesorado de ciencias, una distinción clásica, que continúa siendo útil, es entre el profesorado en formación y el profesorado en activo, ya que estos dos grupos plantean exigencias didácticas diferenciadas (Briscoe, 1991, 1993; Mellado y González, 2000; Valcárcel y Sánchez, 2000). En el caso de los profesores de ciencias en activo, existe la cuestión de cómo integrar eficazmente nuevos saberes epistemológicos al conocimiento profesional ya desarrollado y a la práctica de aula, que en algunos casos pueden tener muchos años de arraigo.

Se debería enseñar epistemología a maestros y profesores de ciencias de todos los niveles educativos (capítulo 3)

En cuanto a los diferentes niveles educativos en los que se desempeñarán los profesores de ciencias (inicial, primario, secundario obligatorio, secundario especializado, terciario, universitario), creemos que esta variable, que es de gran incidencia en el tipo de formación *científica* inicial que reciben, debería tener una influencia menor en la extensión y calidad de su formación epistemológica (Adúriz-Bravo, Badillo et al., en prensa). Nos parece necesario procurar un conocimiento metacientífico amplio y crítico tanto a maestros como a profesores de ciencias (Villamañán y Adúriz-Bravo, 2001), de modo de poder alcanzar una influencia apreciable en la educación científica.

Una tercera población, por último, sería la de los propios *didactas de las ciencias* (formadores del profesorado, diseñadores del currículo, escritores de textos, divulgadores científicos, investigadores), con sus características específicas que la diferenciarían en muchos aspectos de la anterior. Parte de esta población, además, es la encargada de transponer la epistemología para integrarla a la didáctica de las ciencias;

este grupo de didactas de las ciencias funcionaría a modo de enlace entre ambas comunidades académicas.

Para esta población, creemos que es necesaria una reflexión acerca de las diversas relaciones conceptuales que se establecen entre las metaciencias (Adúriz-Bravo, 2001c; Adúriz-Bravo e Izquierdo, en prensa). Nosotros hemos propuesto, con este fin, el uso de la taxonomía presentada en el capítulo 2.

4.2.2 *Los contextos*

Se puede enseñar la epistemología en cursos de ciencias, cursos de didáctica de las ciencias y cursos de metaciencias	Ya centrados específicamente en la población del profesorado de ciencias, McComas, Clough y Almazroa (1998) proponen cuatro contextos distintos en los cuales puede introducirse la enseñanza de la epistemología. Uno de ellos es la propia práctica de la ciencia en el ámbito de la formación inicial en las facultades de ciencias. Este primer contexto, sin embargo, muestra dificultades importantes, relacionadas con la complejidad del conocimiento metateórico, que requiere madurez y una mirada alejada del propio contenido científico (Izquierdo, 1999b, 2000a):
---	---

Since it takes historians and philosophers of science decades of study to derive generalizations about the nature of science from the historical evidence, it is unrealistic to expect teachers (...) to develop profound understandings from a necessarily limited exposure to the world of science. (Dawkins y Glatthorn, 1998: 164)

Los otros tres contextos son de mayor interés para nosotros, por lo que los hemos tomado para nuestro análisis. Decimos que podemos incluir los contenidos acerca de la naturaleza de la ciencia en:

1. *cursos de ciencias,*
2. *cursos de didáctica de las ciencias, y*
3. *cursos de metaciencias* (epistemología e historia de la ciencia).

De hecho, existen dentro de la didáctica de las ciencias propuestas específicas adaptadas a cada uno de los tres contextos, que se han llevado a la práctica con diverso grado de éxito⁹³. Sin embargo, creemos que es posible transferir muchas actividades particulares de estas propuestas didácticas de un contexto a otro, con la necesaria transformación, de modo que resulte factible adecuarlas a una gran diversidad de exigencias de formación epistemológica.

Desde el punto de vista teórico, resulta interesante, y hasta cierto punto necesario, introducir la epistemología para el profesorado de ciencias en estos tres contextos, complementando y potenciando así su contribución al conocimiento profesional del futuro profesor de ciencias. Cada uno de los tres contextos tomaría transposiciones específicas del contenido metacientífico, adecuadas a diversos objetivos y convergentes entre sí.

La formación epistemológica inicial del profesorado de ciencias puede implementarse en los cursos de didáctica de las ciencias (capítulo 3)

Pero dadas las limitaciones de tiempo presentes en la formación inicial del profesorado de ciencias en todo el mundo, creemos que el contexto más adecuado para introducir la epistemología es el de la didáctica de las ciencias (Jiménez Aleixandre, 1995; Clough, 1998; Matson y Parsons, 1998; Meichtry, 1999; Sullenger y Turner, 1998; Izquierdo, 1999b; Monk y Dillon, 2000). Esta disciplina tendría un mayor poder integrador, permitiendo a la epistemología funcionar como reflexión de segundo orden sobre los propios contenidos científicos, su enseñanza y su aprendizaje (López Rupérez, 1990, 1995), y a la vez, generar propuestas didácticas exitosas *fundamentadas epistemológicamente* (Izquierdo, 1990a; Izquierdo y Adúriz-Bravo, en prensa):

[O]s cursos de formação [epistemológica] deverão ter em conta os contextos de prática pedagógica, já que, por si só, um bom conhecimento epistemológico por parte de professor não garante uma adequada exploração por parte do professor. *Não se trata, pois, de desenvolver cursos de epistemologia geral.* Nestes cursos deverá, assim, ser dada oportunidade aos professores em formação de discutirem as suas práticas, ajudando-os a

⁹³ Ver las propuestas que se recogen en el cuarto apéndice.

desenvolver uma progressiva consciencialização das concepções epistemológicas presentes nas suas estratégias de ensino (...). [A] vertente epistemológica deve ser inserida nos objetivos, nas estratégias e nas actividades a desenvolver, que deve ser evidenciada a partir de exemplos definidos, sempre que possível mobilizados *a partir da análise das próprias aulas*. (Praia y Cachapuz, 1994: 352; las cursivas son nuestras)

En el ámbito de esta dimensión, destacamos la existencia de cursos *mixtos*, que combinan la epistemología y la didáctica de las ciencias, en el ámbito de la formación del profesorado de ciencias. Por una parte, es ya tradicional que los cursos de didáctica de las ciencias para futuros profesores contengan un primer intento de respuesta a la pregunta de qué son las ciencias, y por tanto incluyan algunos contenidos epistemológicos elementales (Palmquist y Finley, 1997). Y por otra parte, los cursos de metaciencias que se proponen para profesores de ciencias en activo, combinan los contenidos epistemológicos con la reflexión didáctica de las ciencias (Matson y Parsons, 1998), a fin de conseguir lo que hemos llamado la *funcionalidad* de dichos contenidos.

4.2.3 *Las finalidades*

Se puede enseñar la epistemología como disciplina teórica, como reflexión sobre la ciencia, o como instrumento para aprender ciencias	La necesidad de la introducción de la epistemología en el currículo general de ciencias en todos los niveles educativos ha sido sustentada in extenso por varios autores (Matthews, 1991b, 1994b; Driver et al, 1996; McComas, 1998b; Izquierdo, 1996b, 1998c, 1999b; Adúriz-Bravo, Badillo et al., en prensa). Estos autores han propuesto diversas finalidades para la enseñanza de la epistemología en la educación científica, que pueden ser trasladadas por analogía a la formación del profesorado de ciencias. Entre estas finalidades, hemos seleccionado por su importancia tres grupos, que desarrollamos a continuación.
---	--

Por una parte, la epistemología tiene un valor *cultural* intrínseco, análogo al de las propias ciencias, en tanto que creación del intelecto humano. En este sentido, se constituye como un contenido relevante en el currículo de la población general, de los futuros científicos y del profesorado de ciencias, tanto como cualquier otra área

curricular específica, y debería participar de forma equilibrada con respecto al resto de los contenidos (AAAS, 1989; McComas y Olson, 1998; Millar y Osborne, 1998).

Las finalidades relacionadas con el valor cultural de la epistemología rescatan la excelencia de las *disciplinas científicas* como una de las formas más afinadas de pensar sobre el mundo de las que dispone actualmente la humanidad (Izquierdo, 1994a; Sanmartí e Izquierdo, 1997; Gardner, 2000; Adúriz-Bravo, 2001f). Estas finalidades involucran también un valor *formativo* para las personas.

En segundo lugar, la epistemología tiene un valor *específico*, en tanto que reflexión teórica de segundo orden sobre la ciencia. En este sentido, la epistemología complementa y enriquece la propia educación científica, al proporcionar una imagen madura y crítica de la ciencia que la contextualiza dentro de las actividades y creaciones humanas. Y, al mismo tiempo, “enseña a pensar” a los estudiantes y profesores de ciencias (Izquierdo, comunicación privada).

Las finalidades relacionadas con el valor específico de la epistemología están en consonancia con un modelo *liberal* de educación (Matthews, 1994b, 2000), que busca fomentar la autonomía, creatividad y capacidad crítica de los sujetos⁹⁴.

Por último, la epistemología tiene un valor *instrumental*, como auxiliar en los procesos de educación científica. Muchos autores han señalado este valor mostrando ejemplos de cómo la epistemología mejora la calidad de la enseñanza en el aula de ciencias (Mellado y Carracedo, 1993; Monk y Osborne, 1997; Tagliabue y Gavarotto, 1998), potencia el aprendizaje de los estudiantes (Pessoa de Carvalho, 1994; Reif, 1995), otorga validez al currículo (Hodson, 1988), y ayuda a los profesores de ciencias a entender e incorporar metodologías de inspiración constructivista didáctica (Duschl, 1997).

Anna Maria Pessoa de Carvalho (1994) retrata una de las tantas aportaciones instrumentales de las metaciencias para la enseñanza, aquella que permite al

⁹⁴ Frente a estos buenos deseos, Lederman (comunicación privada) señala que faltan investigaciones que muestren la relación entre la formación epistemológica de la población y la consecución de tan ambiciosos objetivos.

profesorado de ciencias incorporar consideraciones acerca de la génesis del conocimiento y los obstáculos epistemológicos:

El conocimiento de la historia y de la filosofía de las ciencias se torna importante para el planteamiento de la enseñanza, presentándose como una forma de asociar los conocimientos científicos con los problemas que originan su construcción. (p. 13)

Las finalidades relacionadas con el valor instrumental de la epistemología han sido de importancia histórica en la configuración de la didáctica de las ciencias, y han tenido incidencia en el campo de la formación del profesorado de ciencias (Izquierdo, 1990a; Astolfi et al., 1997; Leach, 2001).

4.2.4 *Los métodos*

Se puede enseñar la epistemología con diversas <i>metodologías didácticas</i> y empleando abordajes no convencionales	Las propuestas de enseñanza de la epistemología que hay disponibles actualmente, ofrecen una gran variedad de abordajes didácticos, determinados en parte por los objetivos específicos, el contexto curricular, y los modelos de enseñanza y aprendizaje que ellas sustentan. Por <i>método general</i> entendemos este aspecto curricular formal que involucra la naturaleza de las actividades didácticas propuestas, la forma en que estas están estructuradas y secuenciadas, y los modos de interacción y de discurso que se proponen para la clase de ciencias.
---	--

En cuanto a métodos generales, podemos pensar en clases magistrales (conferencias), talleres, trabajos en pequeños grupos, prácticas de laboratorio, investigaciones guiadas, dramatizaciones, proyectos escolares, salidas de campo y muchos otros. Dentro de estos métodos generales se ubicarían las distintas actividades específicas que propone cada autor⁹⁵. Algunas de estas actividades implicarían el uso de metodologías didácticas no convencionales (entre ellas: cine, literatura, arte) (Meinardi, Adúriz-Bravo et al., 1998).

⁹⁵ Las actividades didácticas que seleccionamos y discutimos en el capítulo 6 y en el apéndice 4 pueden dar idea a los lectores de la variedad existente en esta dimensión.

En otro plano más específico, surge la cuestión de ser coherentes, durante la formación epistemológica, con los modelos didácticos constructivistas que ponemos en acción para la enseñanza de los propios contenidos de ciencias. En este aspecto, adherimos a los modelos de corte *generativo*, como los descritos por Giordan (1982), Osborne y Wittrock (1985), Espinet (1999), Sanmartí (2000b), y Valanides y Angeli (2001).

Recuperamos
dos
modelos

generativos
para integrar
las
metaciencias
en el
currículo
de ciencias

Por ejemplo, Monk y Osborne (1997) y Seroglou y Koumaras (1999a) introducen sendos modelos didácticos para la incorporación de la historia de la ciencia en las clases de ciencias (figura 4.2). Ambos modelos son muy similares entre sí, y siguen el esquema general del modelo generativo, en el sentido de que contrastan las concepciones de los estudiantes de ciencias con los modelos teóricos eruditos.

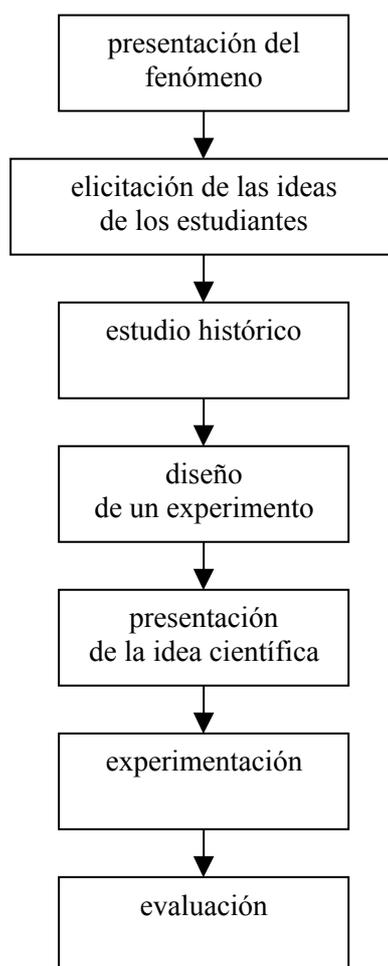


Figura 4.2.a El modelo de Monk y Osborne (1997) para integrar la historia de la ciencia en las clases de ciencias.

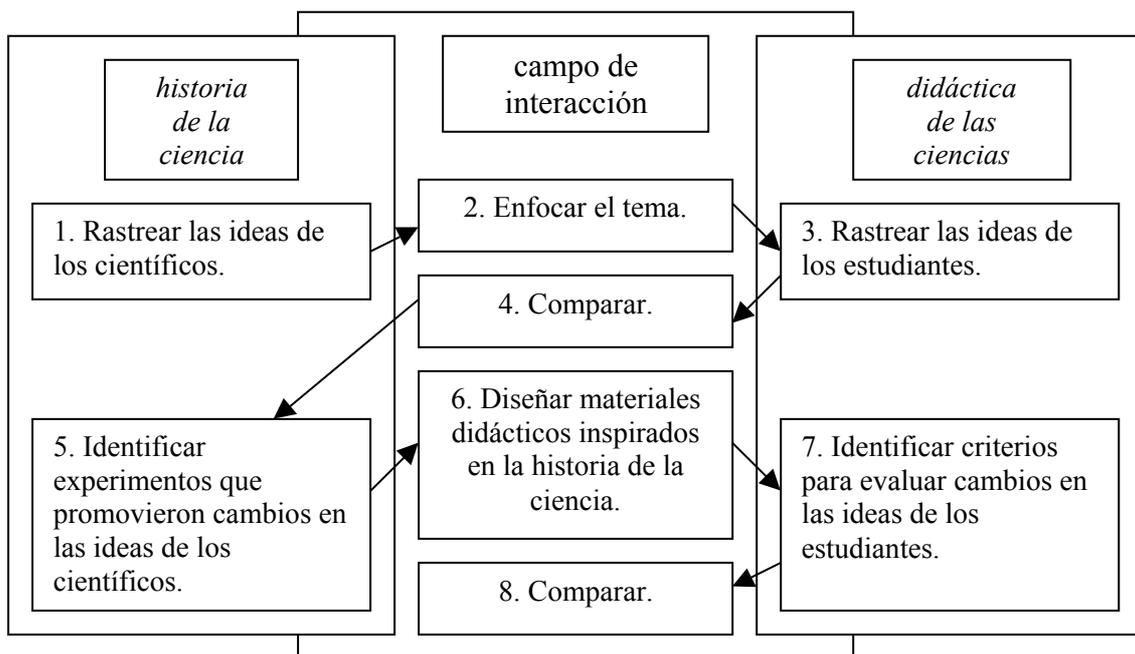


Figura 4.2.b El modelo de Fanny Seroglou (Seroglou y Koumaras, 1999a) para integrar la historia de la ciencia en las clases de ciencias.

Figura 4.2 Dos modelos de tipo generativo para integrar instrumentalmente la historia de la ciencia en la enseñanza de las ciencias.

4.3 Dimensiones de contenido

- Se puede enseñar la epistemología en relación con los contenidos de ciencias, y estructurada de diversas formas
- Hemos desarrollado cuatro dimensiones para estudiar el contenido específico de las propuestas de enseñanza de la epistemología que compilamos:
1. *relación* con una disciplina científica particular,
 2. *anclaje* en contenidos científicos específicos,
 3. *épocas* de la epistemología, y
 4. *campos teóricos estructurantes* de la epistemología.

Las dos primeras dimensiones ayudan a situar estas propuestas en relación con las disciplinas científicas particulares dentro de las cuales pueden ser de utilidad. En este

sentido, contribuyen a la implementación curricular de las propuestas e imponen límites a su *transferibilidad*.

Las dos últimas dimensiones constituyen el núcleo de nuestra aportación al campo HPS (figura 4.1). Se trata de una periodización de la epistemología que nos sirve para identificar y ubicar las *fuentes* teóricas de cada propuesta, y un conjunto de categorías estructurantes que exploran temáticamente las propuestas, examinando los problemas y conceptos que ellas tratan. Presentamos estos dos aparatos en relación con creaciones similares de otros autores que pueden ser consideradas como los antecedentes más directos de nuestro estudio.

Referimos al capítulo 6 y a la primera aplicación

La combinación de estas dos dimensiones, que da lugar a lo que hemos llamado *diseño por épocas y campos* (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001f), nos permite, por una parte, realizar el análisis de propuestas de enseñanza de la epistemología, y por otra, sustentar nuestras unidades didácticas de la primera aplicación.

4.3.1 *Relación con una disciplina*

Una propuesta de enseñanza de la epistemología puede ser de carácter general, para toda el área de ciencias naturales, o bien estar relacionada con una disciplina específica (principalmente física, química o biología). Esta relación puede darse por lo menos a través de dos aspectos: la población que la propuesta selecciona como público preferente, y el contenido científico de los tópicos, casos y ejemplos que utiliza para enseñar la epistemología.

Hempel presenta el método aristotélico relacionado con el caso Semmelweis

Un ejemplo paradigmático, que ya es clásico, de la relación con una disciplina se puede encontrar en la propuesta didáctica de Carl Hempel para enseñar el tópico epistemológico del *método inductivo-deductivo*. Hempel (1973) utiliza un episodio célebre de la investigación médica: el descubrimiento de las causas de la fiebre puerperal por Ignaz Semmelweis, a mediados del siglo XIX.

Ahora bien, el mismo contenido epistemológico puede ser enseñado en relación con otros episodios científicos provenientes de distintas disciplinas. Losee (1997), por ejemplo, lo desarrolla en el contexto de la astronomía copernicana. Y por otra parte, el mismo episodio histórico puede servir para enseñar otro tópico epistemológico. Este sería el proceder de Koertge (1990), que usa el caso Semmelweis para presentar a los estudiantes de ciencias el método hipotético-deductivo.

En este sentido, la relación de una propuesta didáctica con una disciplina específica es un carácter relativamente accidental, conectado a razones de contexto tales como la especialidad científica de formación inicial de su autor, o las fuentes bibliográficas utilizadas⁹⁶. Después de una necesaria transformación, las propuestas relacionadas con una disciplina pueden transferirse a otra, o pueden quedar como propuestas inespecíficas, de carácter formal.

Los contenidos metacientíficos que llamamos *relacionados con una disciplina* pueden ser vistos como la *aplicación* de modelos epistemológicos generales al campo de una de las ciencias naturales en particular. Incluso en el caso de que históricamente fueran construidos en el seno de una disciplina específica (que, como se dijo, es muchas veces la física), se entiende que estos modelos son de generalidad suficiente como para ser introducidos luego en diferentes dominios de contenido.

4.3.2 *Anclaje en contenidos específicos*

Tal como se expuso en relación con la dimensión anterior, muchos de los modelos teóricos de la epistemología son aplicables a todas las ciencias naturales⁹⁷. Históricamente, se vio esta generalidad de los modelos teóricos como una fortaleza de la epistemología, que favorecía este ideal *unificador*. Actualmente, el cuestionamiento de esta visión *unionista* centrada en la física ha dado paso a la emergencia de

⁹⁶ Puede ser de interés consignar que la mayoría de los ejemplos de la epistemología clásica, hasta 1950, están relacionados con la física, que para el positivismo lógico era la disciplina a imitar.

⁹⁷ E incluso son generalizables para abarcar también las ciencias sociales, como se muestra en la

epistemologías específicas muy activas para las diversas disciplinas científicas (Erduran, 1999a, 2000; Adúriz-Bravo y Erduran, 2001).

La *ontología* de la mecánica cuántica es un contenido epistemológico *anclado* en la física

Algunos modelos epistemológicos, a diferencia de los anteriores, surgen estrechamente ligados a un dominio particular de conocimiento, que plantea interrogantes epistemológicos altamente especializados. Decimos entonces que una propuesta está *anclada en contenidos específicos* si presenta modelos epistemológicos referidos a las problemáticas particulares de *una* disciplina. Un ejemplo de este anclaje en el caso particular de la física sería el de la *ontología* de la mecánica cuántica, que ha sido tratado en la didáctica de las ciencias (Coret, 1999; Pospiech, 1999). Otro ejemplo, en biología, sería el de las bases filosóficas de los modelos históricos de biodiversidad y evolución (Salmon, 1992).

Adviértase que esta dimensión es independiente de la anterior, pero puede ser relacionada con ella en un diagrama de flujo (figura 4.3). Para los contenidos no anclados, puede darse el caso de que sean tratados en relación con una o varias disciplinas científicas, a través de ejemplos particulares que remitan a ellas. Sin embargo, los contenidos mismos siguen siendo inespecíficos respecto de las disciplinas que los acogen, y transferibles de una a otra con relativa facilidad. Los contenidos anclados, en cambio, son intransferibles, ya que involucran la creación de modelos y términos específicos que sólo son aplicables a un dominio de contenidos particular.

4.3.3 *Las épocas*

Se pueden enseñar modelos epistemológicos de diversas *escuelas* del siglo XX

A fin de organizar y estructurar las fuentes teóricas que cada propuesta de enseñanza de la epistemología recoge, e identificar el tratamiento específico que se da a los diferentes tópicos epistemológicos que ella selecciona, hemos diseñado una periodización de la epistemología que nos permite recorrer la

segunda aplicación de la tesis.

historia reciente de esta disciplina (el siglo XX) (Adúriz-Bravo, 2001a). Este aparato puede ser usado para clasificar las propuestas de enseñanza de la epistemología según las escuelas de pensamiento que se utilizan para su elaboración.

La idea de estructurar la historia de la epistemología en un esquema periodizado, con el fin de organizar y enseñar más eficazmente sus diversos tópicos, tiene diferentes antecedentes tanto en la propia disciplina⁹⁸ como en la didáctica de las ciencias⁹⁹. Reseñamos aquí algunos de estos antecedentes, a fin de contextualizar nuestra periodización.

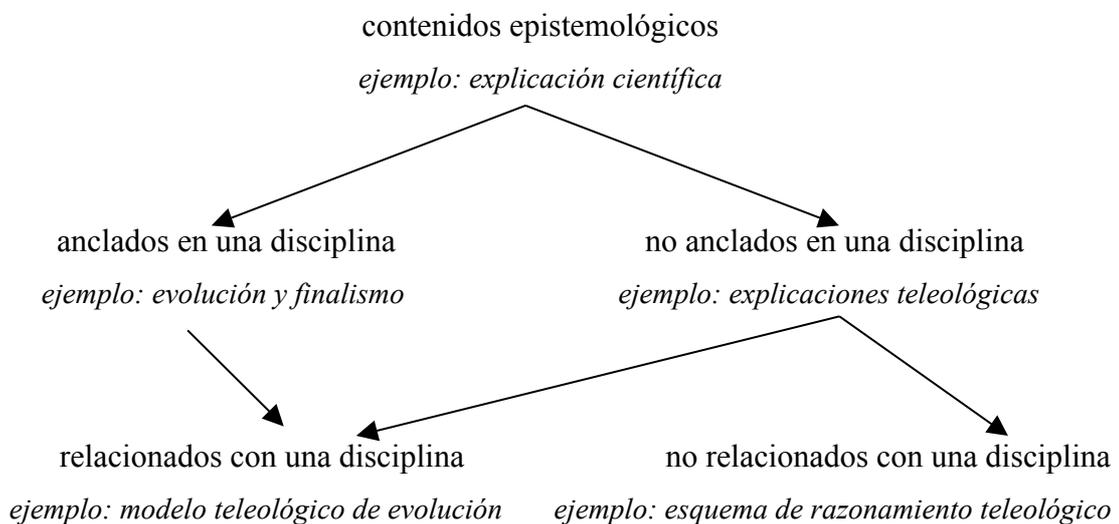


Figura 4.3 Conexión entre nuestras categorías de *relación* y *anclaje*. Se ejemplifica a través del tópico de la explicación en biología, en el campo de la teoría de la evolución.

⁹⁸ Entre ellos: Mosterín (1982); Chalmers (1984); Estany (1993); Losee (1997).

⁹⁹ Por ejemplo: Nussbaum (1989); Cleminson (1990); Aliberas (1994); Izquierdo (1990a, 2000b); Monk y Dillon (2000).

4.3.3.1 Propuestas de periodización hechas desde la epistemología

Rescatamos cuatro periodizaciones de la epistemología académica

Desde la epistemología académica, recogemos primeramente la propuesta de Jesús Mosterín (1982), que ubica el inicio de la epistemología “establecida y profesionalizada” (página 12) en la segunda guerra mundial. Este autor periodiza la historia de la disciplina en tres etapas, que grosso modo coinciden con sendas décadas:

1. Los años cincuenta, o *epistemología clásica*. Se trata de la culminación de la epistemología iniciada por el Círculo de Viena y continuada por la concepción heredada anglosajona.
2. Los años sesenta, o *epistemología historicista*. Surgida como reacción frente al excesivo formalismo de la etapa anterior.
3. Los años setenta, o *epistemología actual*:

[S]e diferencia de la clásica en su atención mucho mayor al análisis y reconstrucción de conceptos y teorías realmente usadas por la comunidad científica (...). [S]e diferencia de la epistemología historicista (...) en el decidido empeño de no quedarse en la mera narración de casos concretos, sino de proceder a la construcción de esquemas abstractos con que dilucidar la estructura y el funcionamiento de las teorías, usando para ello todo el arsenal de herramientas formales que la lógica y la matemática ponen a su disposición. (Mosterín, 1982: 14-15)

En segundo lugar, mencionamos la monumental historia de la *tradición semántica* (particularmente centrada en el positivismo lógico) que hace Juan Alberto Coffa (1991). En este libro ya clásico se analizan, a diferentes escalas, dos períodos históricos relevantes para la epistemología. Por una parte, se revisa a grano grueso el siglo XIX, desde las primeras réplicas a Immanuel Kant hasta el *Tractatus* de Ludwig Wittgenstein. Por otra parte, se inspecciona con detalle la actividad filosófica vienesa entre 1925 y 1935. Sin embargo, Coffa no proporciona una periodización explícita y estructurada de la epistemología.

La propuesta de John Losee (1997)¹⁰⁰ es paradigmática, y ha tenido gran incidencia en la formación epistemológica de filósofos, científicos y profesores de ciencias. Losee periodiza la historia de la epistemología desde el siglo IV antes de Cristo hasta 1975 en catorce etapas:

1. Las primeras cuatro etapas cubren la epistemología griega clásica (Aristóteles, la orientación pitagórica, la sistematización deductiva y el atomismo).
2. Hay dos etapas dedicadas a la Edad Media y al Renacimiento, respectivamente.
3. Tres etapas más se ocupan de la epistemología de la revolución científica y sus implicaciones posteriores¹⁰¹.
4. Las dos etapas correspondientes al siglo XIX y al primer cuarto del siglo XX cubren cuatro escuelas epistemológicas: inductivismo, hipotético-deductivismo, positivismo matemático y convencionalismo.
5. El último medio siglo del que se ocupa el autor (1925-1975) se divide en tres etapas: reconstruccionismo lógico, y el ataque y las alternativas a la ortodoxia.

Por su parte, Anna Estany (1993), sin pretender aportar estrictamente una periodización, recorre la historia de la epistemología a través de los siguientes apartados:

1. la *antigüedad*, desde Aristóteles hasta Ptolomeo,
2. la *Edad Media*, en donde se valorizan las aportaciones que se dan a partir del siglo XIII (Roger Bacon),
3. la *revolución científica*, que abarca los siglos XVI y XVII,
4. los *siglos XVIII y XIX*, en donde se producen grandes aportaciones filosóficas (John Locke, Gottfried Leibniz, David Hume, Immanuel Kant, John Herschel, William Whewell, John Stuart Mill, Henri Poincaré, Pierre Duhem, Émile Meyerson),
5. la *institucionalización*, a cargo del Círculo de Viena,
6. la *irrupción de la historia*, iniciada por Thomas Kuhn, y

¹⁰⁰ El original en inglés es de 1980.

¹⁰¹ Para exponer la tercera de estas etapas, en el capítulo 9 de su libro, Losee rompe con la lógica histórica y la reemplaza por una lógica *temática*. Ese extenso capítulo cubre, entonces, desde John Locke hasta Rom Harré.

7. el *estado actual*, con párrafos dedicados a la concepción estructural, la concepción semántica y el enfoque empírico en dinámica científica.

4.3.3.2 *Propuestas de periodización hechas desde la didáctica de las ciencias*

Rescatamos tres periodizaciones de la epistemología hechas por didactas de las ciencias

Ya en la didáctica de las ciencias, Martin Monk y Justin Dillon (2000) hacen un breve recorrido por la historia de la epistemología, atendiendo a tres grandes cuestiones teóricas:

(a) ¿cuál es una descripción adecuada del método científico, (b) qué estatus puede darse al conocimiento científico y (c) cómo, si es posible, se distingue la ciencia de la no-ciencia? (p. 73; la traducción es nuestra)

Con estas preguntas, Monk y Dillon periodizan la epistemología a enseñar en cuatro etapas:

1. el *empirismo*, que abarcaría los siglos XVIII y XIX, y que constituiría una visión de la ciencia apenas más elaborada que la del sentido común actual,
2. el *positivismo lógico*, que abarcaría las décadas de 1920 a 1960, con un fuerte énfasis en el estudio formal y lingüístico de las teorías,
3. el *falsacionismo*, modificación del programa positivista que enfatiza el aspecto racionalista y descarta la lógica inductiva, y
4. la *ciencia en un contexto social*, rótulo más bien amplio que engloba distintas corrientes inscritas en el giro externalista en la epistemología iniciado con Thomas Kuhn.

Por su parte, Margarita Gómez Moliné y Neus Sanmartí (1996), siguiendo parcialmente la propuesta didáctica en Aliberas (1994), establecen siete *escuelas* en la epistemología desde el siglo XVIII hasta hoy:

1. el *empirismo*, representado por figuras como Bacon, Hume y Locke,

Gómez Moliné y Sanmartí (1996) hablan de diversos *seguidores* de esta corriente, entre los cuales ubican el positivismo decimonónico y –desde nuestro punto de vista incorrectamente– el positivismo lógico del Círculo de Viena. Esta última corriente, a nuestro juicio, constituiría un intento de síntesis entre el positivismo empirista de Auguste Comte y las propuestas racionalistas de filiación cartesiana y kantiana (Coffa, 1991; Estany, 1993; Losee, 1997; Izquierdo, 1999b, 2000a; Adúriz-Bravo, 2000a):

Logical positivism started as a branch of neo-Kantianism that differed from other branches in taking science as an epistemological model. (Coffa, 1991: 3)

2. el *racionalismo*, en el que se ubicarían Descartes y Kant,
3. el *falsacionismo*, representado por Popper, y entendido como una superación de las dos escuelas anteriores,
4. el *historicismo*, introducido por Kuhn con su concepto de revolución científica,
5. el *falsacionismo metodológico*, escuela en la que las autoras inscriben a su creador Imre Lakatos y también, erróneamente, a Larry Laudan,
6. el *evolucionismo*, que agrupa las posturas de Chalmers, Toulmin y, si se toma en sentido muy amplio e inespecífico, la propuesta independiente de Feyerabend, y
7. el *cognitivism*, que sería una actual perspectiva de síntesis que conecta la epistemología con la ciencia cognitiva (Izquierdo, 1999a).

Mercè Izquierdo (1990a) reseña siete diferentes *enfoques* del método científico (páginas 75-79), que corresponden a una presentación mixta por épocas y por cuestiones epistemológicas:

1. el *inductivismo*, con el *positivismo* como variante,
2. el *convencionalismo* en la versión de Duhem,
3. el *convencionalismo revolucionario* kuhniano,
4. el *falsacionismo metodológico* popperiano,
5. los *programas de investigación científica* lakatosianos,
6. la *concepción anarquista del conocimiento*, debida a Feyerabend, y
7. la idea de *racionalismo moderado*, que conectaría a Stephen Toulmin, W.H. Newton-Smith y Alan Chalmers.

4.3.3.3 Nuestra propuesta de periodización

Periodizamos la epistemología a enseñar en tres épocas: positivismo lógico y concepción heredada, racionalismo crítico y nueva filosofía de la ciencia, y postmodernismo y visiones contemporáneas

La enseñanza de la epistemología de una manera más o menos formal requiere de una *selección* de aquellos autores, escuelas y modelos que se consideran más pertinentes para la formación del profesorado de ciencias. Aunque la reflexión teórica acerca de la ciencia es tan antigua como la ciencia misma (Koertge, 1990; Estany, 1993; Losee, 1997; Izquierdo, 1999b, 2000a), no es sino hasta inicios del siglo XX que se constituye como disciplina académica independiente, con un perfil epistemológico propio y con un cuerpo profesional de investigadores (Echeverría, 1999). Por tanto, la conformación del Círculo de Viena en los años '20, que marca el inicio de la escuela llamada *positivismo lógico*, puede ser considerada un punto de partida consistente para la selección de los contenidos metacientíficos más adecuados al currículo de formación inicial del profesorado de ciencias (Adúriz-Bravo, Badillo et al., en prensa).

En este sentido, es posible afirmar que todos los tópicos históricamente relevantes de la epistemología desde sus albores han sido revisitados por esta escuela, que además es la primera que elabora modelos con un grado de estructuración y formalización elevado, pertinente y útil para la educación científica (Adúriz-Bravo, Badillo et al., en prensa).

Características de nuestra aportación

Partiendo del hito fundacional del ascenso de Moritz Schlick a la cátedra de filosofía de las ciencias inductivas de la Universidad de Viena, en 1922, los diversos desarrollos de la epistemología del siglo XX podrían ser periodizados en tres grandes *épocas*, que desarrollamos brevemente a continuación. Nuestra periodización (Adúriz-Bravo, 1999d, 2000b, en prensa-d) se diferencia de otras muchas en, al menos, siete aspectos de interés:

1. es más *sintética* que algunas propuestas anteriores, con lo cual puede resultar más potente desde el punto de vista de la didáctica de las ciencias,
2. al iniciarse con el Círculo de Viena, enfatiza el rol fundacional y de amalgama teórica que tiene esta escuela (Estany, 1993),
3. recupera las críticas tempranas (esto es, anteriores a la segunda guerra mundial) que se hicieron al positivismo lógico, generalmente olvidadas en propuestas preexistentes,
4. el abanico de autores que va desde Stephen Toulmin hasta Paul Feyerabend queda dividido en dos secciones claramente diferenciadas; se evita así el uso abusivo del término *constructivismo* como “cajón de sastre” para agrupar escuelas casi incompatibles¹⁰²,
5. las tres épocas que proponemos se solapan en el tiempo, manifestando el hecho de que las diversas escuelas de la epistemología a menudo no se extinguen, sino que perviven y coexisten, a modo de tradiciones de investigación en competencia conceptual,
6. la periodización es exhaustiva, ya que abarca la historia de la epistemología hasta nuestros días, y
7. al estar estructurada en tres épocas, permite un acercamiento “pendular” a la historia de la epistemología: las dos primeras épocas representarían visiones extremas e irreconciliables, y la tercera, una *vía media* que sintetiza las anteriores¹⁰³.

4.3.3.3.1 El positivismo lógico y la concepción heredada

La primera época va desde 1925 hasta 1965

Esta primera época abarca desde la constitución del Círculo de Viena, en los años '20, hasta la decadencia, en el ámbito anglosajón, de la *concepción heredada* (*received view*), deudora de aquel, que puede ser señalada con la aparición del libro de Thomas Kuhn, *La estructura de las revoluciones científicas* , en 1962 (Suppe, 2000). Esta época está caracterizada por un énfasis

¹⁰² Como hace Nussbaum (1989).

¹⁰³ Este acercamiento, que encontramos de valor para la formación del profesorado de ciencias, se pone en marcha en el próximo capítulo, aplicado al tópico de la explicación científica.

en el aspecto *metodológico* de las ciencias (Echeverría, 1999), y un enfoque primordialmente *sintáctico* (formal) en el análisis estructural del conocimiento científico.

Representantes destacados del positivismo lógico son Rudolf Carnap, Otto Neurath, Herbert Feigl y Hans Reichenbach. La concepción heredada, por su parte, está signada por los nombres de Carl Hempel, Bernard Cohen y Ernest Nagel. Estos tres autores son de una importancia central para la didáctica de la epistemología, ya que sus monumentales obras de sistematización¹⁰⁴ han sido el insumo principal para la formación epistemológica de varias generaciones de científicos y profesores de ciencias, y han inspirado la sección metodológica introductoria de los libros de texto para la educación científica general de la población.

Recuperamos la idea de enseñar modelos <i>positivistas lógicos</i> al profesorado de ciencias (capítulo 3)	Consideramos que esta primera época de la epistemología tiene un alto valor para la didáctica de las ciencias por varios motivos diferentes (Adúriz-Bravo, Badillo et al., en prensa). Primeramente, porque sirve de <i>modelo teórico</i> para entender las ideas acerca de la naturaleza de la ciencia que sustentan las distintas poblaciones:
--	---

El positivismo lógico constituye una primera formalización de la imagen popular de la ciencia, muy difundida en los ámbitos no especializados. (Adúriz-Bravo, Badillo et al., en prensa: 3)

Y en este sentido ha sido utilizada muchas veces en la investigación en didáctica de las ciencias¹⁰⁵.

En segundo lugar, porque contiene una serie de construcciones teóricas valiosas para la educación científica, que aún no han sido superadas, en algunos aspectos, por escuelas posteriores. Por ello, puede ser útil a la hora de introducir de forma sencilla a los estudiantes y los profesores de ciencias en el dominio del *lenguaje metateórico*

¹⁰⁴ Nagel (1968); Hempel (1979); Cohen y Nagel (1983).

¹⁰⁵ Por ejemplo en: Cotham y Smith (1981); Ogunniyi (1982); Salazar (2000); Kichawen (2001).

(Osborne, comunicación privada):

Lo que se persigue, en definitiva, es proporcionar al neófito en esta materia las categorías conceptuales básicas (...). (Estany, 1993: 11)

Y por último, porque una comprensión adecuada de las tesis básicas del positivismo lógico es condición necesaria para introducirse en las formas de pensar de la epistemología, y poder entender consecuentemente los desarrollos posteriores a la segunda guerra mundial:

[E]l estudio riguroso del positivismo lógico, particularmente en las versiones más refinadas de la concepción heredada, constituye para los profesores [de ciencias] una forma poderosa y comprensiva de iniciarse en el conocimiento de la [epistemología]. Por tanto, esta escuela epistemológica resulta de gran valor en la formación y cualificación de nuestro profesorado, y merece una atención teórica detallada. (Adúriz-Bravo, Badillo et al., en prensa: 5-6)

Michael Matthews (1998) sustenta esta misma postura, pues considera que el positivismo lógico, como epítome del pensamiento *moderno* sobre la ciencia, provee los fundamentos conceptuales para entender las ideas epistemológicas de la segunda mitad del siglo XX, que cuestionan en gran medida este pensamiento. Por tanto, es de importancia ineludible en la formación del profesorado de ciencias:

[The science teacher has] to get some grip on orthodox, or we might say modernist, understandings of the nature of science, and now the legitimacy, or otherwise, of postmodernist challenges to the orthodox understanding. (p. xiii)

Lo que ocurre muchas veces, en la educación científica y en la propia didáctica de las ciencias, es que se incorporan ideas supuestamente avanzadas acerca de la naturaleza de la ciencia sin rastrear su génesis y los problemas específicos a los que estas ideas pretenden dar respuesta, que precisamente están en la primera época. Por lo tanto, los estudiantes o los profesores de ciencias no logran comprender la relevancia de estas ideas, que quedan a modo de meros *lemas* epistemológicos vacíos. Matthews (1998) caricaturiza lapidariamente esta actitud como un

[v]oicing opinions about postmodernism, when the basics of modernism have not been understood. (p. xvii)

4.3.3.3.2 El racionalismo crítico y la nueva filosofía de la ciencia

La segunda época va desde 1935 hasta 1985

Esta segunda época abarca desde las críticas tempranas que suscita el Círculo de Viena en Francia (Bachelard, 1938) y Alemania (Popper, 1934/1959), hasta la absorción definitiva del enfoque historicista y externalista iniciado por Kuhn, por parte de la sociología de la ciencia, a fines de los años '80. Esta época está marcada, inicialmente, por un interés en rebatir o reformar la concepción positivista lógica, llevando posteriormente el análisis a nuevos campos. Tal tendencia teórica, bien característica de la nueva filosofía de la ciencia, se conoce como *externalismo*.

El mecanismo de apertura novedoso propugnado por las corrientes de esta época tiene su pieza clave en el uso de la *historia de la ciencia* como fuente de escenarios empíricos contra los cuales evaluar los modelos epistemológicos, especialmente los referidos a la dinámica científica (Estany, 1990). En este sentido, estamos de acuerdo con Anna Estany (1990, 1993, en prensa) en que el gran aporte de la nueva filosofía de la ciencia en la posguerra no es tanto una solución a los problemas que el positivismo lógico deja incompletos, sino el planteamiento de nuevas cuestiones teóricas que esta escuela y las anteriores habían dejado de lado. Desde la visión fuertemente externalista que esta escuela plantea, algunos problemas clásicos se abandonan por carecer de sentido:

[P]roblemas tales como la unidad o pluralidad del método científico y los requisitos formales de las explicaciones pierden toda relevancia. (Gaeta et al., 1996: 65)

La fundamentación epistemológica de la didáctica de las ciencias proviene mayormente de la segunda época

Cabe reiterar que la mayor parte de la epistemología que circula actualmente en la didáctica de las ciencias, dirigida tanto a la enseñanza como a la investigación, proviene de esta segunda época. Los modelos revolucionistas de cambio científico y el falsacionismo de Popper tienen una gran influencia en la investigación didáctica de las ciencias, en el desarrollo curricular de muchos países, y en la práctica real del profesorado de ciencias (Abimbola, 1983; Izquierdo, 1990a; Koulaidis y Ogborn, 1995).

4.3.3.3.3 El postmodernismo y las visiones contemporáneas

La tercera época comienza en 1975

La introducción de las visiones *sociologistas* en la epistemología, de fuerte corte relativista, puede ser ubicada temporalmente por medio de la aparición del polémico trabajo de Paul Feyerabend (1975), que marcaría el inicio de esta tercera época. Bajo el nombre general de *postmodernismo* (Koertge, 1998), podemos agrupar una serie de escuelas epistemológicas diversas, que tienen en común su ataque frontal al concepto de racionalidad categórica, al que buscan alternativas más o menos extremas, que desdibujan la especificidad de la ciencia frente a otras formas de conocimiento institucionalizado.

De esta epistemología fuertemente influenciada por la sociología de la ciencia y los *science studies*, puede decirse también que representa un cambio drástico respecto de las preocupaciones clásicas:

[L]os problemas estrictamente epistemológicos que tradicionalmente preocupaban a los filósofos de la ciencia quedan fuera de consideración. (Gaeta et al., 1996: 65)

Por otra parte, y desmarcándose de la corriente anterior, las visiones contemporáneas (neoanalítica, estructuralista, semántica, evolucionista, axiológica y cognitiva, entre otras) recuperan tópicos clásicos de la epistemología –tales como la relación entre

realidad y predicación, o el problema de la reconstrucción racional del conocimiento científico—, pero abordándolos desde una perspectiva eminentemente *semántica* y centrada en el concepto de *modelo teórico*¹⁰⁶.

Las visiones contemporáneas son valiosas para la didáctica de las ciencias, porque conectan con la pedagogía y la psicología

Izquierdo (1999a, 2000a) señala que muchos de estos modelos epistemológicos contemporáneos son de una gran riqueza para la didáctica de las ciencias, debido, entre otras cosas, a las relaciones que son capaces de establecer entre las metaciencias, la psicología (en su paradigma cognitivo), la pedagogía, la antropología y la lingüística.

4.3.4 *Los campos estructurantes*

Los campos teóricos estructurantes son una herramienta de análisis de contenidos para aplicar a la epistemología

La idea que subyace a esta última dimensión es la del *análisis de contenidos* propiamente dicho. Se trata de identificar los tópicos epistemológicos que las propuestas de enseñanza abordan. Para ello, necesitamos tener previamente un aparato conceptual que nos diga cuál es el espectro posible de tales tópicos, que los caracterice someramente y que les dé nombre. Los *campos teóricos estructurantes de la epistemología* son nuestra propuesta para este aparato (Adúriz-Bravo, 2000c).

En la construcción de esta última dimensión, como ya se anunció, hemos tenido en cuenta cuatro elementos convergentes:

1. El *análisis estructural* de la epistemología, que nos ha permitido definir el concepto de *campo teórico estructurante* como un conjunto irreducible de ideas epistemológicas estructurantes coligadas, construido en forma de un par de conceptos abstractos, y representado por diversos tópicos centrales, modelos teóricos y ejemplos paradigmáticos (episodios históricos)¹⁰⁷.

¹⁰⁶ Ver un resumen de estas visiones en: Giere (1986, 1992b); Estany (1993); Suppe (2000).

¹⁰⁷ Volver a la figura 3.3.

2. Las *selecciones de tópicos de la epistemología con valor para la enseñanza de las ciencias*, realizadas por varios epistemólogos y didactas de las ciencias, que nos han servido como antecedentes para la presentación contextualizada de nuestra propuesta, y que posibilitan a los lectores evaluar las innovaciones que ella introduce.
3. Una *concepción de la epistemología* centrada en sus problemas y modelos teóricos, que nos ha permitido evaluar la completitud, separabilidad y representatividad de nuestros campos.
4. Los *lineamientos actuales de la didáctica de las ciencias*, que proporcionan el espíritu general con el cual se ponen en acción nuestros campos teóricos estructurantes en propuestas específicas para la educación científica y la formación del profesorado de ciencias.

La estructura de la epistemología debería respetarse en la formación del profesorado de ciencias

Nuestra propuesta se apoya en la hipótesis de un cierto *homomorfismo*, a nivel profundo, entre la estructura de coherencia de la epistemología (el sistema de sus ideas troncales), y la estructura curricular de su transposición didáctica más adecuada para la educación científica. Es decir, postulamos que el conjunto de las ideas epistemológicas que son fundamentales desde el punto de vista de esta disciplina en la actualidad, puede ser también –si es reformulado convenientemente– el conjunto de los tópicos epistemológicos más relevantes para su enseñanza¹⁰⁸.

Las ideas troncales de la epistemología ponen en evidencia los problemas –históricos y actuales– más relevantes en relación con el análisis de la validez del conocimiento científico. Por ello, estas ideas son también fundamentales para la educación científica, en tanto que esta ha de contribuir a la formación cultural en sentido amplio.

¹⁰⁸ El postulado de la *identidad estructural-funcional* entre la epistemología erudita y la epistemología escolar está sustentado en la concepción basada en modelos de la epistemología cognitiva actual. Este postulado es análogo al que planteamos para las propias ciencias naturales, que se transponen con base en sus modelos irreductibles (Izquierdo, en preparación).

Los cuatro elementos enunciados y los seis campos teóricos estructurantes de la epistemología que hemos construido, son objeto del próximo capítulo.

* * *

En la figura 4.4 se resumen, para referencia de los lectores, las trece dimensiones de análisis que hemos presentado en este capítulo. Se indican los valores particulares (*concreciones*) que puede tomar cada una de ellas.

Creemos que el análisis surgido de la aplicación de estas dimensiones podría ser valioso en dos niveles complementarios:

1. ayudar a los didactas de las ciencias en la formulación de futuras propuestas de formación epistemológica del profesorado de ciencias, y
2. ayudar a los profesores de ciencias en la toma de decisiones didácticas referentes a su práctica profesional.

Dimensiones de análisis para clasificar las propuestas		
Conjunto	Dimensión	Concreción
Dimensiones informativas	Autor	Libre
	Título	Libre
	Idioma	Libre
	Fuente	Libre
	Formato	Libre
Dimensiones curriculares	Población	Estudiantes de ciencias
		Profesores de ciencias
		Didactas de las ciencias
	Contexto	Cursos de ciencias
		Cursos de didáctica de las ciencias
		Cursos de metaciencias
	Finalidad	Cultural
		Específica
		Instrumental
	Método	Libre
Dimensiones de contenido	Relación con una disciplina	Sí/No. Cuál
	Anclaje en contenidos	Sí/No. Cuáles
	Época	Positivismo lógico y concepción heredada
		Racionalismo crítico y nueva filosofía de la ciencia
		Postmodernismo y visiones contemporáneas
	Campo estructurante	Correspondencia y racionalidad
		Representación y lenguajes
		Intervención y método
		Contextos y valores
		Evolución y juicio
	Normatividad y recursión	

Figura 4.4 Sistema de dimensiones de análisis para clasificar las diversas propuestas de enseñanza de la epistemología que hemos recolectado.

Capítulo 5

Los campos teóricos estructurantes de la epistemología

Los campos sirven para analizar, evaluar, diseñar y formar

Este capítulo presenta el núcleo de nuestra propuesta de organización de los contenidos de la epistemología para la formación del profesorado de ciencias. Se trata de lo que llamamos la técnica de análisis composicional por campos teóricos estructurantes. La idea fundamental de nuestro marco es que constituye una herramienta combinada de análisis, evaluación, diseño y formación.

Se trata de una herramienta de *análisis*, por cuanto complementa el resto de las dimensiones categoriales, expuestas en el capítulo anterior, a la hora de conseguir una imagen de la arquitectura interna de las propuestas de enseñanza de la epistemología. En este sentido, genera una serie de *criterios de clasificación* (Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany, en prensa) de las propuestas, y deja al descubierto sus similitudes y diferencias. En particular, al ser combinados con las épocas, los campos permiten un desarrollo *temático* de la epistemología que funciona a modo de *mapa* para ubicar las distintas propuestas de enseñanza con fines tanto clasificatorios (analíticos) como didácticos (sintéticos)¹⁰⁹.

Nuestro marco es además una herramienta de *evaluación*, desde el momento en que permite reconocer las fortalezas y debilidades de las propuestas, encontrando los tópicos privilegiados y sus relaciones, valorando la actualidad y pertinencia de los modelos epistemológicos, e identificando también las cuestiones que ellas no exploran. En este sentido, la aplicación de los campos teóricos estructurantes genera una serie de *criterios de evaluación* (Estany, 1999, comunicación privada) tanto *extradidácticos* (sobre la calidad y actualidad epistemológica intrínseca de las propuestas), como *intradidácticos* (sobre la potencia y utilidad de las ideas que ellas pretenden enseñar en el contexto de la educación científica).

¹⁰⁹ Esto es lo que llamamos *diseño por épocas y campos*, que se define en el capítulo 8.

Podemos considerar que nuestro marco es también una herramienta de *diseño*, dado que provee lineamientos para modificar, combinar, trasladar y complementar las propuestas de enseñanza de la epistemología existentes, o realizar nuevas propuestas. Esto se muestra explícitamente en la primera aplicación de nuestra tesis.

Por último, hablamos de que nuestro marco es también una herramienta de *formación*, y esto en dos sentidos complementarios. En primer lugar, porque al acompañar la exposición de las propuestas de enseñanza de la epistemología, los campos permiten al profesorado de ciencias hacer una valoración teóricamente fundamentada de aquellas propuestas más adecuadas para cada necesidad didáctica específica. Y en segundo lugar, porque los campos permiten generar iniciativas originales de formación epistemológica del profesorado de ciencias, particularmente si se instrumentalizan a través de *ideas epistemológicas clave* (Adúriz-Bravo, 2000a, en prensa-b) u otros mecanismos que reduzcan su grado de abstracción y formalidad, y faciliten su transposición a la enseñanza de las ciencias.

Se resume el capítulo En la primera sección de este capítulo, repasamos diferentes identificaciones teóricas y prácticas de tópicos epistemológicos centrales, rastreadas por nosotros en la literatura especializada de la epistemología y la didáctica de las ciencias. Estos antecedentes stricto sensu nos permiten contextualizar nuestra creación y desmarcarla de otras similares.

La segunda sección se dedica al concepto de *campo estructurante*; expone la diferencia que queremos establecer con las propuestas anteriores, que es la búsqueda de *coherencia estructural* de los campos, inspirada en el modelo cognitivo de ciencia (Giere, 1992b). En nuestro caso, trabajamos con cinco ideas que organizan nuestra propuesta:

1. la serie de los *modelos epistemológicos irreductibles*, que, así como sus análogos disciplinares (Izquierdo, 1999b, 2001, en preparación; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Duschl, 2001), es el mínimo número de modelos teóricos disjuntos (no

- superponibles) necesario para reconstruir la estructura de coherencia sintáctica de la epistemología de todos los tiempos,
2. los *campos*, que son conjuntos de ideas estructurantes densamente ligadas a través de su afinidad temática (Adúriz-Bravo, 2000a),
 3. la *formulación conceptual binaria*, que es una forma útil de *definir* los campos a través de un par de conceptos estructurantes que se intersecan,
 4. el *núcleo literario* de los libros de texto de epistemología, con sus preguntas fundacionales, analogías clásicas, ejemplos paradigmáticos y autores arquetípicos, que nos permite nombrar y caracterizar los campos, y dar cuenta de su completitud y separabilidad, y
 5. la *relevancia didáctica* de nuestra formulación, que intenta garantizar que, sin habernos apartado demasiado de la epistemología, hayamos seleccionado ideas metateóricas directamente vinculadas a la mejora de la educación científica (McComas, 1998b).

La tercera sección desarrolla uno por uno los seis campos teóricos estructurantes de la epistemología que hemos propuesto hasta el momento. Se intenta dar claridad a la exposición de los campos con el auxilio de ejemplos epistemológicos y didácticos que sirvan de apoyo.

Referimos
al
apéndice 2,
que aplica la
*matriz
de épocas
y campos*

La cuarta sección combina los campos con las épocas, dando lugar a la *matriz de épocas y campos* (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001f). En un apéndice, se pone en marcha esta matriz para trazar el esbozo de una propuesta didáctica centrada en el tópico de la *explicación científica*. Se pretende así mostrar un poco a los lectores la naturaleza de nuestro aparato conceptual y sus implicaciones para la didáctica de las ciencias.

La quinta sección resume algunas consideraciones sobre la validez global de nuestra propuesta, que hemos recogido en diversas instancias de afinamiento de nuestro marco, a lo largo de los tres últimos años¹¹⁰. Esta sección remite a un apéndice dedicado a

¹¹⁰ El proceso de construcción y perfeccionamiento de los campos se expone más explícitamente en el capítulo 7.

ejemplificar el uso de los campos como marco teórico-metodológico en una instancia de análisis curricular. Se analiza con este aparato la programación de la asignatura *Bases epistemològiques de l'ensenyament de les ciències i de les matemàtiques*, dictada por Mercè Izquierdo en la Universitat Autònoma de Barcelona. Este análisis puede servir para aclarar mejor a los lectores el significado y funcionamiento de los campos teóricos estructurantes.

5.1 Antecedentes de identificación de conceptos epistemológicos fundamentales

Rescatamos algunos análisis de contenidos de la epistemología

El procedimiento de identificar las grandes ideas o problemas troncales (como se dijo, a veces llamados *estructurantes*) de la epistemología, con el fin de enseñarlos a distintas poblaciones, es bastante común en esa disciplina¹¹¹, y también conoce algunos tímidos antecedentes en la didáctica de las ciencias¹¹². Reseñamos aquí ejemplos provenientes de una y otra disciplina, con el fin de contextualizar y a la vez diferenciar nuestra propia propuesta didáctica.

Queremos recalcar que los antecedentes de identificación de ideas epistemológicas estructurantes que hemos encontrado en nuestra revisión son bastante poco explícitos, sistemáticos y exhaustivos; este hecho dificulta la comparación con nuestra propuesta. Cabe consignar, además, que los antecedentes están contruidos con fines eminentemente *didácticos*. Entre estos fines se cuenta el *retórico*, esto es, la voluntad de organización macroestructural de los libros de texto de epistemología.

¹¹¹ Hempel (1973); Díaz y Heler (1988); Koertge (1990); Estany (1993); Gillies (1993); Klimovsky (1994); Rosenberg (2000).

¹¹² Aikenhead (1991); Aliberas (1994); Jiménez Aleixandre (1995); Duschl (1997); Boersema (1998); Izquierdo (1998a); Fernández Montoro (2000); Monk y Dillon (2000).

5.1.1 Antecedentes epistemológicos

Recogemos seis estructuraciones de la epistemología académica John Losee (1997), al definir la epistemología para poder historizarla, plantea cuatro preguntas de naturaleza *criteriológica* (es decir, cuyo objeto son los procedimientos y estructuras de la ciencia):

1. ¿Qué características distinguen a la investigación científica de otros tipos de investigación?
2. ¿Qué procedimiento debe seguir el científico al investigar la naturaleza?
3. ¿Qué condiciones debe satisfacer una explicación científica para ser correcta?
4. ¿Cuál es el rango cognoscitivo de las leyes y principios científicos? (p. 13)

Por su parte, Noretta Koertge (1990) estructura su curso universitario de epistemología para científicos en formación alrededor de cuatro “grandes problemas” (páginas 18-19):

1. ¿Cuál es el *objetivo* de la investigación científica?
2. ¿Cuáles son los *métodos* de la ciencia?
3. ¿Cuáles son los *éxitos* de la ciencia?
4. ¿Cuáles son las *responsabilidades éticas* de los científicos?

Para esta autora, un conjunto internamente coherente de respuestas a estas cuatro preguntas constituye una “breve teoría de la ciencia” (página 19), que debería ser el objeto de enseñanza de un curso de epistemología.

En estos dos primeros ejemplos, la formulación de los tópicos epistemológicos centrales en forma de *preguntas* tan abiertas, nos parece demasiado inespecífica para nuestros fines de enseñanza. Creemos que es necesario identificar dentro de la historia de la epistemología las formas paradigmáticas de *respuesta* a esas preguntas, a fin de poder transmitir a los estudiantes (especialmente, los profesores de ciencias en formación) los modos de pensar estándar de la disciplina.

Por su parte, Anna Estany (1993) reconoce cuatro acercamientos clásicos a la enseñanza de la epistemología a través de los libros de texto, respectivamente centrados en la

historia de la epistemología, sus escuelas teóricas, sus problemas clásicos y sus temas. Estany (1993) organiza su propia introducción a la epistemología siguiendo un esquema temático valioso, que recoge las siguientes ideas epistemológicas:

1. el *lenguaje* científico, cuyo átomo (unidad) es el *concepto* científico,
2. las *hipótesis* científicas,
3. las *leyes* científicas, relacionadas con los conceptos de *causalidad* y *necesidad*,
4. las *teorías* científicas, con referencias a los *modelos* y las *tipologías*, y
5. la *explicación* científica, considerada el elemento clave del análisis de la ciencia, que enlaza todos los aspectos anteriores.

Sin embargo, los tópicos seleccionados por esta autora corresponden primordialmente al *aspecto lógico-semántico* de la epistemología¹¹³, y son tratados desde una concepción neoanalítica centrada en las metacategorías necesarias para el análisis estructural del discurso científico. Por tanto, creemos que estos tópicos epistemológicos son también insuficientes para nuestros fines.

El curso de Esther Díaz y Mario Heler (1988) tiene una primera parte también centrada sobre grandes temas epistemológicos, que intenta responder a la pregunta general de qué es la ciencia. Los temas seleccionados por estos autores son similares a los de Estany (1993), aunque ellos introducen un apartado para la *clasificación* de las ciencias y el diseño de la *episteme*. En una segunda parte, dedicada específicamente a las ciencias naturales, se presentan dos escuelas epistemológicas clásicas –el inductivismo y el hipotético-deductivismo– y las críticas que se han hecho a ellas.

La “introducción contemporánea” a la epistemología de Alex Rosenberg (2000) sigue también una estructura temática por capítulos¹¹⁴:

¹¹³ Según la propia Estany (1993: 26-54), este es uno de los tres “aspectos fundamentales de la reflexión metacientífica”.

¹¹⁴ Este autor, fiel a la tradición anglosajona, utiliza la expresión *philosophy of science* donde nosotros hemos traducido *epistemología*, y *epistemology*, donde nosotros hemos puesto

1. por qué la epistemología,
2. explicación, causación y leyes,
3. la *explicación científica*,
4. la *estructura* de las teorías científicas,
5. la *gnoseología* de la teorización científica,
6. el *postpositivismo* y la historia de la ciencia, y
7. la naturaleza de la ciencia.

La selección temática de perfil netamente clásico (esto es, de producto, sintáctico, basado en teorías, justificacionista) que hace este autor no aporta nada nuevo respecto de los ejemplos anteriores. Sin embargo, hemos rescatado este libro por la importancia que dedica a la reflexión sobre la naturaleza de la epistemología y su relación con la ciencia (*reflexión de tercer orden*), que ocupa dos capítulos completos (el 1 y el 7).

La propuesta de Donald Gillies (1993), por su parte, combina el abordaje histórico con el temático, rescatando explícitamente las ventajas de ambos, y concentrándose en la epistemología del siglo XX. Este autor recoge cuatro “temas centrales (...) ciertamente de la mayor importancia” (página xi; la traducción es nuestra), que son tratados en sendas partes del libro:

1. el *inductivismo* y sus críticas, debidas a Popper y a Duhem,
2. el *convencionalismo*, con la célebre *tesis Duhem-Quine*,
3. la naturaleza de la observación, y
4. la *demarcación* entre ciencia y metafísica.

De este autor nos parece interesante rescatar el importantísimo tópico epistemológico de la *demarcación*, que –a modo de hipótesis de trabajo– proponemos como la síntesis más abstracta e inclusiva de nuestros seis campos teóricos estructurantes.

5.1.2 Antecedentes didácticos

Rescatamos dos propuestas de ideas epistemológicas estructurantes hechas desde la didáctica de las ciencias

William McComas (1998a) nos aporta uno de los ejemplos más relevantes de organización de un curso de metaciencias para profesores de ciencias alrededor de unas pocas ideas potentes *con incidencia en la enseñanza de las ciencias*:

The course content is arranged around a number of overarching nature of science ideas that are both accessible and useful to those involved in science teaching. (McComas, 1998a: 211)

McComas (1998a) propone ocho temas para organizar las lecturas y sesiones de su curso. Estos temas proveen consecuentemente la estructura curricular general del curso (páginas 212-217; la traducción es nuestra):

1. Una introducción a los estudios sociales de la ciencia.
2. *Teorías y leyes*: productos y herramientas de la ciencia.
3. La lógica y métodos de la ciencia.
4. *Empirismo-inductivismo, hipotético-deductivismo* y el rol de la creatividad en ciencia.
5. Imágenes de la ciencia y sus métodos.
6. Visiones de la realidad y el rol de la observación en la ciencia.
7. El *cambio conceptual* en la ciencia y en el aula.
8. La sociedad de la ciencia; ciencia, sociedad y educación científica.

Esta propuesta introduce varios elementos novedosos respecto de las que hemos recogido, dentro de la propia epistemología, en el apartado anterior. Además de abordarse el estudio estructural canónico, se dedican algunos temas (del 5 al 8) a la relación entre ciencia y sociedad, y se enfatiza el aspecto de *proceso* en la ciencia, descuidado en los abordajes tradicionales. Una novedad importante, común a otros cursos de epistemología para profesores y didactas de las ciencias (Clough, 1998; Izquierdo, 1998a), es la introducción del estudio de las relaciones entre la ciencia

erudita y la ciencia escolar, y entre la epistemología y la didáctica de las ciencias (temas 1, 5, 7 y 8).

Por su parte, David Boersema (1998) propone un curso sobre la naturaleza de la ciencia para científicos en formación, centrado alrededor de la técnica del *estudio de casos* (Irwin, 2000). Los tres primeros bloques de este curso revisan ideas epistemológicas que pueden ser consideradas estructurantes:

1. *Conceptos epistémicos*. Entre otros: observación, medición, experimentación, modelos, teorías, explicación.
2. *Modelos de cambio científico*. Inductivismo, falsacionismo, historicismo, reconstruccionismo, pragmatismo.
3. *Ciencia y sociedad*. Se tratan los apartados de valores, tecnología y cultura.

* * *

- | | |
|---|--|
| Queremos construir un sistema que contenga pocas ideas epistemológicas, y que sean potentes | Nosotros hemos retomado el espíritu general de estas diferentes propuestas epistemológicas y didácticas, especialmente en lo que se refiere a tres aspectos: |
|---|--|
1. la *parsimonia*: hemos intentado, como los demás autores, que nuestros criterios de selección redujeran al mínimo indispensable el número de ideas epistemológicas a enseñar,
 2. la *ilación temática*: hemos intentado, siguiendo especialmente a los epistemólogos en sus libros de texto, que las ideas seleccionadas transmitieran una imagen coherente, completa y conexas de los problemas cruciales de la epistemología de todos los tiempos, y
 3. la *relevancia didáctica*: hemos tratado de seguir la recomendación de William McComas (1998a) acerca de que las ideas epistemológicas seleccionadas fueran potentes para incidir en la educación científica.

Queremos que el sistema de los campos transmita a los profesores de ciencias una imagen coherente de la epistemología

Sin embargo, hemos introducido un cuarto aspecto teórico adicional en nuestra propuesta: intentar que las ideas epistemológicas seleccionadas y formuladas por nosotros proporcionasen un *modelo estructural y funcional* de la epistemología como disciplina, que tuviese valor para la didáctica de las ciencias. La siguiente sección está dedicada a definir el constructo de *campo teórico estructurante de la epistemología*, mostrando los apoyos teóricos que han participado en su elaboración.

5.2 El concepto de *campo teórico estructurante*

Recurrimos a ideas para el análisis estructural de las disciplinas

El análisis estructural de las disciplinas científicas, tanto eruditas como escolares, ha encontrado en el concepto de *idea estructurante* una herramienta de utilidad. Las ideas estructurantes serían conceptos disciplinares de altísimo nivel de generalidad e *inclusividad* ausubeliana (Ausubel et al., 1976; Galagovsky, 1996), capaces de organizar teóricamente los distintos conceptos y modelos presentes en la estructura de coherencia de una disciplina o en el currículo que prescribe su enseñanza en algún nivel educativo (Gagliardi, 1986; Izquierdo, 1994a; Sanmartí e Izquierdo, 1997; Yus, 1997; García Cruz, 1998). En este sentido, las ideas estructurantes serían los ejes directores de las organizaciones profundas tanto *sintáctica* como *curricular* de un área de conocimiento, si se plantea una correspondencia más o menos estrecha entre ambas en el proceso de transposición didáctica (figura 5.1).

García Cruz (1998), siguiendo la propuesta teórica de Raúl Gagliardi (1986), de inspiración bachelardiana, destaca el poder que tienen estos conceptos para estructurar la cognición:

Se trata de conceptos que van a transformar el sistema cognitivo del alumno de tal manera

que le van a permitir, de una forma coherente, adquirir nuevos conocimientos, por construcción de nuevos significados, o modificar los anteriores, por reconstrucción de significados antiguos. De ahí la importancia de tener en consideración las ideas previas de los alumnos en cuanto a la identificación de los conceptos estructurantes y de sus orígenes. Estamos, pues, ante la catarsis bachelardiana. (García Cruz, 1998: 325)

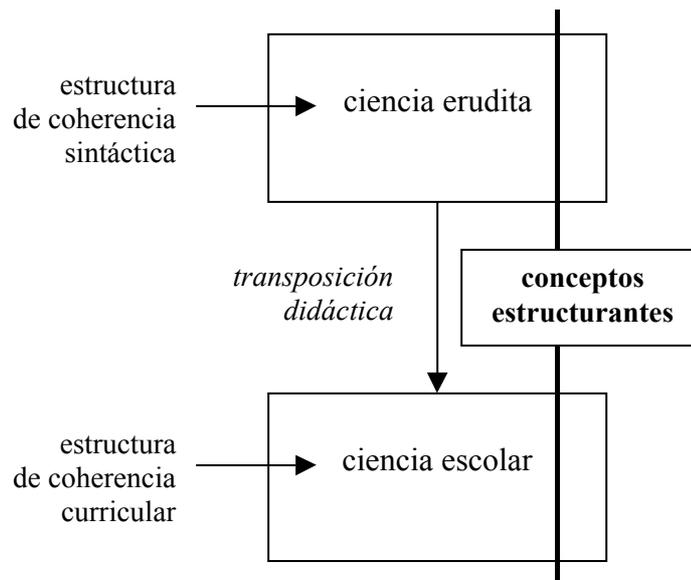


Figura 5.1 Los conceptos estructurantes son *ejes* que atraviesan las disciplinas eruditas y escolares.

Por su parte, Francisco García Pérez y Eduardo García (2001) hablan de *nociones transversales*, en el mismo sentido que las ideas estructurantes, pero enfatizando el carácter transdisciplinar, abstracto, inespecífico y *metaconceptual* de estas nociones. Mercè Izquierdo también expande la idea original de estructuración por medio del concepto de *modelo teórico*, proveniente de la epistemología cognitiva (Giere, 1992a, 1992b). Consecuentemente, propone la noción de *modelo irreductible* (Izquierdo, 1999b, 2001, en preparación).

Los modelos irreductibles serían los modelos teóricos *generadores* de cada una de las familias de modelos de las disciplinas. Como su nombre lo indica explícitamente, estos modelos serían perspectivas disjuntas y complementarias, *todas* simultáneamente necesarias para reconstruir la estructura completa de una ciencia erudita. Modelos

irreductibles de las ciencias naturales serían, por ejemplo, los de cambio químico, ser vivo, partículas y movimiento, ondas y campos, el sistema Tierra¹¹⁵.

Se define el concepto de *campo teórico estructurante* Ahora bien, en cualquier disciplina científica más o menos madura, las ideas estructurantes son muy abundantes, y aparecen organizadas coherentemente en conjuntos densamente ligados que constituyen áreas temáticas o aspectos de la disciplina. Estos aspectos crecen agrupados en torno a *cuestiones* clásicas que son las que recorren la disciplina desde su inicio formalizado. Llamamos *campo teórico estructurante* a cada uno de los conjuntos coherentes de ideas fundamentales que otorgan identidad a una disciplina académica. Los campos tienen el interés adicional de que pueden ser

utilizados *con el fin clasificatorio de discriminar entre propuestas de enseñanza de [una] disciplina.* (Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany, en prensa: 13; cursivas en el original)

Nuestro desarrollo y explicitación de los campos se ha hecho por medio de lo que llamamos una *formulación conceptual binaria*. Esto es, cada campo teórico estructurante está descrito por medio de dos sustantivos abstractos de alto nivel de generalidad, que remiten a cuestiones epistemológicas históricamente importantes y abarcativas, enlazadas entre sí.

Nuestra propuesta se inspira en la *concepción basada en modelos de la epistemología* Recalamos que un elemento importante de nuestra propuesta es la suposición de que la estructura interna de la epistemología académica actual, el currículo general de epistemología para las diversas poblaciones, los modelos epistemológicos relevantes para la didáctica de las ciencias, y las ideas epistemológicas

¹¹⁵ En la tercera aplicación de la tesis se introduce la idea de llevar a cabo el diseño curricular en ciencias por medio de modelos irreductibles. Esta idea ya había sido adelantada por Mercè Izquierdo en el *Projecte Ciències 12-16* (Izquierdo, Cabello y Solsona, 1992) y en su didáctica del cambio químico (Izquierdo, en preparación).

potentes para la educación científica, admiten un alto grado de identificación. Esta suposición, coherente con la *concepción basada en modelos* (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001a, 2001e), se basa en nuestra aceptación del origen intrínsecamente *didáctico* de las disciplinas científicas (Izquierdo, 1999b, 2000a).

5.2.1 Fuentes

Los campos resumen nuestro análisis de 55 libros de epistemología	Para la construcción de los campos teóricos estructurantes, hemos prestado atención a la literatura epistemológica del siglo XX, buscando en ella las grandes cuestiones teóricas y los modelos que se han propuesto para responderlas. Hemos revisado cincuenta y cinco libros de epistemología, agrupados en tres categorías, que se enumeran a continuación.
--	---

5.2.1.1 Libros de texto

Se trata de libros específicamente diseñados para la *enseñanza* de la epistemología a diversas poblaciones (especialmente a futuros científicos, profesores de ciencias y filósofos, en el primer ciclo universitario):

Ayer (1965); Wartofsky (1978); Chalmers (1984); Harré (1985); Rivadulla (1985); Díaz y Heler (1988); Gaeta y Robles (1990); Koertge (1990); Giere (1991); Chalmers (1992); Estany (1993); Gillies (1993); Klimovsky (1994); Gaeta et al. (1996); Losee (1997); Echeverría (1999); Estany y Casacuberta (2000); Rosenberg (2000).

5.2.1.2 Libros híbridos

Se trata de libros –muchos de ellos ya clásicos– no específicamente concebidos como textos didácticos, pero que han sido muy utilizados en la enseñanza de la epistemología a nivel del bachillerato y la universidad:

Popper (1959); Achinstein (1968); Nagel (1968); Bunge (1969); Hanson (1971); Kuhn (1971); Hempel (1973); Toulmin (1977); Hempel (1979); Bunge (1980); Cohen y Nagel

(1983); Hempel (1988); Artigas (1989); Estany (1990); Coffa (1991); Samaja (1994); Estany (1999).

5.2.1.3 Libros de investigación

Son libros especializados y de tesis. No están diseñados para la enseñanza de la epistemología, y son difícilmente adaptables para este propósito:

Bachelard (1938); Hesse (1966); Feyerabend (1975); Laudan (1978); Stegmüller (1979); van Fraassen (1980); Newton-Smith (1981); Moulines (1982); Hacking (1983); Lakatos (1983); Mosterín (1984); Bunge (1985); Lakatos (1987); Suppe (1989); Moulines (1991); Giere (1992b); Thagard (1992b); Kitcher (1993); Echeverría (1995); Follari (2000).

5.3 **Los seis campos teóricos estructurantes para la formación del profesorado de ciencias en epistemología**

Nuestra propuesta se ha ido afinando a lo largo de dos años (capítulo 7) En trabajos presentados a lo largo de dos años (Adúriz-Bravo, 2000c; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001e; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany, 2001), hemos ido desarrollando una propuesta de organización de los contenidos de la epistemología en campos teóricos estructurantes, con dos fines explícitos:

1. para *evaluar* propuestas disponibles de enseñanza de la epistemología, y
2. para *guiar* la enseñanza de la epistemología a distintas poblaciones.

Nuestra propuesta ha venido siendo validada tanto en foros de intercambio académico (epistemológico y didáctico de las ciencias), como en instancias de formación inicial y continuada del profesorado de ciencias¹¹⁶.

En los siguientes apartados desarrollamos nuestros seis campos teóricos estructurantes, apoyándolos y ejemplificándolos desde la epistemología y la didáctica de las ciencias.

¹¹⁶ Estos mecanismos de validación se comentan en el capítulo 7.

En la figura 5.2 proporcionamos a los lectores un esquema general de los campos. En él se han incluido algunos conceptos epistemológicos que pueden resultar conocidos, mostrándose explícitamente en qué campos se ubicarían.

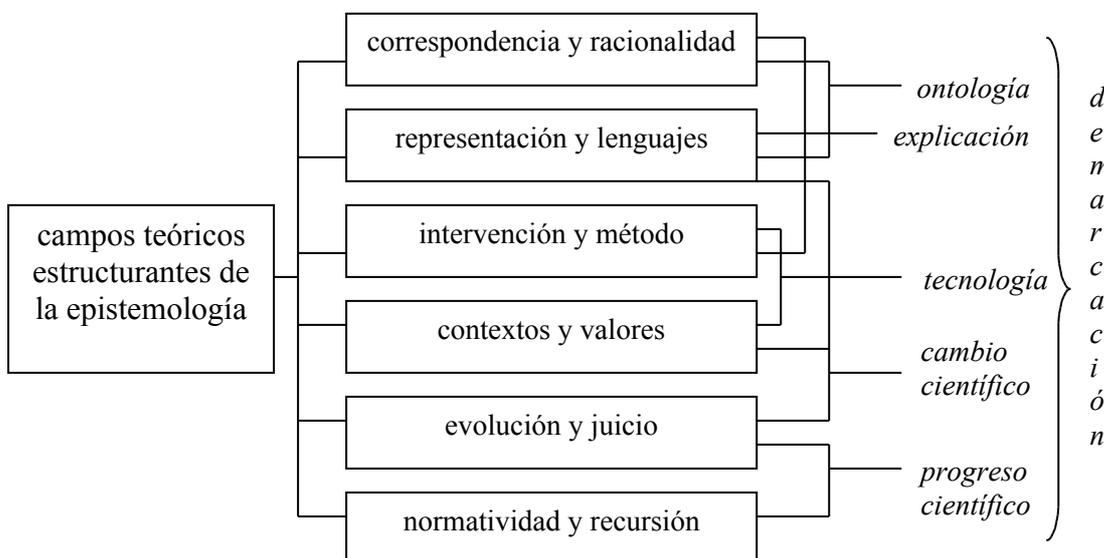


Figura 5.2 Mapa de nuestros seis campos teóricos estructurantes y algunos conceptos epistemológicos asociados.

5.3.1 Correspondencia y racionalidad

El campo de *correspondencia y racionalidad* refiere a la forma en que las teorías conectan con la realidad y a cómo son juzgadas por los científicos. El núcleo de la epistemología clásica estuvo mucho tiempo ubicado en el análisis de la ciencia como *producto*, realizado desde una perspectiva sintáctica, justificacionista y centrada en la explicación teórica. Consecuentemente, la naturaleza *ontológica*, por un lado, y el grado de *certeza*, por otro, de la relación entre conocimiento y realidad, han sido sin duda las dos cuestiones más abordadas en la historia de la epistemología. Estas dos cuestiones constituyen la médula de nuestro primer campo teórico estructurante; las trataremos sucintamente por separado a continuación.

5.3.1.1 Correspondencia

El problema de la correspondencia ha generado respuestas *realistas* y *antirrealistas* Como se dijo, uno de los problemas más antiguos abordados por la epistemología es el que remite a la naturaleza y alcances de la relación que existe entre el conocimiento científico y la realidad por él representada. Siguiendo a varios autores (Hacking, 1983; Bunge, 1985; Giere, 1992b; Rosenberg, 2000), hemos llamado a esta cuestión el problema de la *correspondencia* entre realidad y representación, entre teoría y empiria, o entre conocimiento y evidencia.

Las respuestas clásicas a la cuestión de la correspondencia teoría-empiria pueden ser agrupadas en dos grandes posiciones: el *realismo*, por un lado, y las posturas antirrealistas opuestas a él, entre las cuales destaca, por su gran difusión, el *instrumentalismo*.

La visión realista plantea alguna forma relativamente fuerte del llamado *principio de correspondencia*, que establece una relación más o menos biunívoca entre los términos científicos y las entidades del mundo natural. La postura instrumentalista, en cambio, supone que las entidades teóricas son herramientas de *organización* del mundo de fenómenos que no necesariamente tienen una contrapartida en la realidad ontológica (Izquierdo, 1990b; Koertge, 1990; Estany, 1993; Castorina, 1998; Adúriz-Bravo y Meinardi, 2000).

Ahora bien, la versión positivista lógica del realismo, frecuentemente calificada de *ingenua* (Chalmers, 1984), sostiene una relación estrecha entre representación y representamen. Consecuentemente, supone que todos los términos teóricos de las ciencias refieren a objetos del mundo. Esta suposición es problemática, como han mostrado diversos autores¹¹⁷.

La solución actual al problema de correspondencia está más bien alineada con un

¹¹⁷ Por ejemplo: Chalmers (1984); Gaeta y Robles (1990); Klimovsky (1990); Giere (1992b).

intento de recuperación del realismo, para el cual se han propuesto diversas variantes más o menos sofisticadas (Bunge, 1985; Pickering, 1989; Kukla, 1994; Giere, 1992b, 1999a; Rosenberg, 2000). Estas variantes incorporan algunas herramientas conceptuales del *construccionismo*, el *operacionalismo* y el *instrumentalismo*, rivales tradicionales del modelo realista de correspondencia (Losee, 1997).

El problema de la pertinencia del realismo para dar cuenta de la práctica científica requiere del análisis riguroso de la relación entre las teorías y los hechos o, en palabras de Andrew Pickering (1989), del estudio detallado de

the relation between articulate scientific knowledge and its object, the material world. (p. 275)

Con posterioridad al revolucionario trabajo de Thomas Kuhn, los diversos modelos de ciencia formulados desde la epistemología propiamente dicha han tendido por un período de tiempo hacia la adopción del *instrumentalismo* como la relación válida entre realidad y predicación en la ciencia¹¹⁸. Por otra parte, algunos modelos más contemporáneos, influenciados por la ciencia cognitiva, la sociología de la ciencia y la didáctica de las ciencias, han realizado un giro hacia el *constructivismo* epistemológico. De esta forma, instrumentalismo y constructivismo han constituido dos embates fuertes (hacia 1965 y 1985 respectivamente) contra el realismo tradicional (Giere, 1992b).

La epistemología actual es, en forma preponderante, realista

En los últimos años, sin embargo, asistimos en la epistemología a un retorno hacia posturas realistas renovadas¹¹⁹, retorno que es posible merced a la superación definitiva de los realismos representativo y semántico duros, propios de los modelos epistemológicos tradicionales.

No obstante, el instrumentalismo y el constructivismo son capaces de dar cuenta de muchas de las características actuales de la ciencia, por lo que sus principios conservan

¹¹⁸ Epistemólogos instrumentalistas famosos son Stephen Toulmin y Larry Laudan.

¹¹⁹ La tendencia al realismo también ha alcanzado recientemente la propia didáctica de las ciencias (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2000a; Matthews, 2000; Good y Shymansky, 2001).

el mayor interés para la epistemología y la didáctica de las ciencias. Simultáneamente a esta constatación, es necesario aceptar dos hechos más. Por una parte, que la mayoría de los científicos sostiene una visión realista de su labor:

Natural scientists unproblematically take their task to be the giving of true accounts of the working of the real, physical, external world. (Ogborn, 1995: 5)

No podemos desconocer tal visión si queremos formular un modelo *naturalista* de la ciencia, que tenga en cuenta cómo los científicos conceptualizan su propia práctica (Giere, 1985, 1986, 1992b).

Y, por otro lado, que una postura instrumentalista o constructivista radical puede deslizarse pronto hacia un idealismo, un pragmatismo o un relativismo exagerados, que son *aberraciones epistemológicas* incompatibles con la existencia de la didáctica de las ciencias, ya que niegan la relevancia y la especificidad de la componente científica en la educación integral del ciudadano (Izquierdo, 2000a).

Rescatamos las nuevas versiones del realismo El problema está planteado, entonces, en los siguientes términos: recuperar los elementos más potentes del instrumentalismo y del constructivismo, y aun así mantener una postura realista teóricamente robusta y consistente¹²⁰. Creemos que este problema puede ser resuelto apelando a construcciones teóricas ya disponibles, que enriquecen y complejizan el concepto de *realismo* con otras aportaciones.

Instrumentalismo y constructivismo tienen como rasgo común la tesis de que las teorizaciones científicas son entidades creadas libremente por los científicos, con gran independencia de la realidad a la que refieren. Estas entidades son juzgadas, en el caso del instrumentalismo, por su *eficacia*, ya sea en la resolución de problemas, como en la predicción y gestión de fenómenos. En el caso del constructivismo, el juicio sobre las

¹²⁰ Este es un problema no menor en la literatura actual de la epistemología, la didáctica de las ciencias y otras disciplinas sociales (Pickering, 1989; Hodson, 1992; Kukla, 1994; Echeverría, 1995; Ogborn, 1995; Osborne, 1996; Giere, 1999a; Izquierdo, 2000a; Good y Shymansky,

entidades teóricas tiene como criterio central el que sean capaces de dar cuenta de los datos empíricos¹²¹, y de organizar las experiencias individuales.

Una postura *realista crítica* añade a estas dos características de eficacia instrumental y adecuación empírica la pretensión de que las teorías científicas capten en parte la estructura profunda de la realidad. En palabras de Derek Hodson (1988):

Las teorías son instrumentos para calcular y predecir, pero los científicos tienen la esperanza de que también sean descripciones o explicaciones de la realidad. (p. 13)

El realismo crítico reconoce que las entidades de la ciencia son creaciones del intelecto humano que, como tales, toman sentido en el contexto sociocultural en el que surgen. Pero también impone la restricción de que esas entidades han sido moldeadas por la operación del intelecto sobre la propia realidad, que les ofrece *resistencias*, y por tanto pretenden referir de alguna manera fuerte a dicha realidad. Así, el “mundo pensado” de la ciencia es

la resultante de dos factores: nuestro sistema conceptual y el mundo real. (Mosterín, 1984: 12)

Pero este realismo crítico es también *pragmático*, en el sentido de que entiende que los modelos científicos constituyen explicaciones *parciales* de la realidad, que captan algunos de sus aspectos, seleccionados con base en los objetivos específicos de cada problema científico. Y con este espíritu, sostiene que no necesariamente todas las entidades teóricas de la ciencia tienen su contrapartida en la realidad, ya que a menudo la correspondencia entre ambos conjuntos no se da uno a uno y linealmente (Giere, 1992b; Ogborn, 1995; Izquierdo, 1999b).

Así recuperamos uno de los rasgos más interesantes del instrumentalismo, cual es la capacidad de las teorías de crear *mediadores* conceptuales abstractos para dar cuenta de los hechos, y de utilizarlos con gran potencia explicativa, antes de que se muestre que

2001).

¹²¹ Esto se conoce como *salvar los fenómenos*.

dichos mediadores teóricos tienen un correlato con existencia autónoma en la realidad. También damos cuenta de la *parsimonia*, que el instrumentalismo hace explicable, entendiendo que ella es un valor epistémico detentado en la construcción de las teorías, que no necesariamente se corresponde con la estructura ontológica profunda de la realidad (Estany, 1993)¹²².

Por otra parte, recuperamos elementos del constructivismo cuando suponemos que las teorías son *familias* de representaciones no lingüísticas¹²³, a las que el individuo da sentido por medio de un proceso activo de *reconstrucción* de estas herramientas culturales de la ciencia. Pero dichas representaciones han sido creadas y seleccionadas en un proceso comunitario de confrontación pragmática con la realidad, por lo cual refieren con creciente seguridad a ella, en sus aspectos más profundos. Podemos hablar entonces de un realismo *convergente*, en el cual las construcciones de la ciencia se acercan cada vez más a captar la estructura ontológica de la realidad, sin llegar a apropiarla totalmente, con el fin de intervenir activamente sobre ella.

Este realismo crítico es también *de segundo orden*, u *objetivista* (Matthews, 1994a, 1994b, 1994c, 2000), en el sentido de que entiende la clara separación conceptual entre los objetos *teóricos* de la ciencia, con toda la carga de creación que ellos poseen, y los objetos reales, que de ninguna manera son construidos, y que tienen existencia propia, independiente de la mente, y cognoscible en parte¹²⁴.

Con esto aceptamos que

el constructivismo tiene razón al subrayar los aspectos inventivos, humanos, dependientes de la cultura y de la historia, de la creación de los objetos *teóricos* de la ciencia. (Matthews, 1994a: 85; subrayado en el original)

pero negamos toda pretensión de que los objetos del mundo sean igualmente construidos en la experiencia de los sujetos. Así, este realismo *constructivo* integra

¹²² Este principio de economía teórica se conoce como *navaja de Occam*.

¹²³ Lo que es lingüístico son los enunciados que *definen* los modelos de las teorías.

¹²⁴ La separación tajante entre realidad y predicación ha llevado a Sir Karl Popper (1959) a hablar de diferentes *mundos*.

como objetivos de la ciencia, por un lado, el dar sentido al mundo y, por otro, el encontrar algún tipo de verdad sobre él (Matthews, 1994c, 2000). Estos dos objetivos se revelan compatibles entre sí si se rechaza una teoría de la representación ingenua y semánticamente limitada.

La epistemología de Giere es realista Desde una postura naturalista, la defensa que Ronald Giere (1992b) hace del realismo, se basa fundamentalmente en que los mismos científicos consideran que los *conceptos T-teóricos*¹²⁵ constituyen una referencia a entidades con existencia propia en la realidad; esas entidades son utilizadas como verdaderos instrumentos de investigación. Los científicos entonces

are using as points of reference concepts and relations that have been so thoroughly established in earlier phases of science that we now trust them as tools. (Fensham, Gunstone y White, 1994: 5)

Esta posición, llevada al extremo, es engañosa, ya que no permite explicar el hecho de que entidades teóricas ya descartadas –como por ejemplo el *flogisto* y el *éter*–, eran en su época consideradas tan reales como hoy pueden serlo los *protones* y los *campos electromagnéticos*.

Una posible salida a esta contradicción la constituye el concepto de *base empírica metodológica*, utilizado por Gregorio Klimovsky (1990). Para este autor, los conceptos teóricos suficientemente establecidos en una disciplina son utilizados como instrumentos de investigación, en el sentido de que se da por sentado provisoriamente que remiten a entidades con existencia real para, sobre ellas, avanzar por medio de la construcción de nuevas entidades:

Cuando es necesario resolver un problema en particular, entonces el investigador se apoya en alguna o algunas teorías ya existentes y, aunque forje hipótesis específicas acerca de su tema, ya no cuestiona la existencia y el conocimiento de los objetos teóricos que son mencionados en aquellas teorías. (p. 157)

¹²⁵ Un concepto se dice *T-teórico* cuando participa como *término teórico* (no observable) en la estructura sintáctica de una teoría T.

A través de la aceptación pragmática de esta base empírica, llegamos al concepto de *estabilización interactiva* de Andrew Pickering (1989), por el cual los conceptos teóricos creados cobran a menudo, y durante mucho tiempo, entidad real, dando densidad a nuestras distintas representaciones parciales del mundo, los *modelos*.

Pero también puede suceder que cambios profundos en las teorías destruyan la aparente seguridad de estos objetos, obligándonos a descartar ciertas representaciones de los fenómenos que no se corresponden finalmente con la realidad:

The relation between knowledge and the material world has therefore to be understood not in terms of fixed correspondence but rather in terms of local, potentially unstable, coherences achieved between material procedures and conceptual models. (Pickering, 1989: 281)

También aceptamos, junto con esta visión, cierto grado de *instrumentalismo*, al permitir una práctica científica con numerosos modelos complementarios (Hodson, 1992), que no necesariamente expresan todos los aspectos del sistema representado, sino que funcionan como análogos pragmáticos de él (Giere, 1992b).

A partir de estas diferentes posturas apenas esbozadas más arriba, hablamos del *realismo crítico*, dentro del cual es posible admitir, junto con Izquierdo y otros (1995),

that the models are conventional and can change, [but] they are not arbitrary and they certainly connect significantly with the real world. (p. 5)

Esto es, el realismo crítico pretende dar cuenta simultáneamente del carácter cultural, discursivo y, por ende, *convencional* de los modelos científicos, y de su facultad de referir, aunque parcial y crecientemente, a entidades reales. A través de dicha facultad, las creaciones teóricas son manipulables como verdaderos objetos de investigación empírica.

5.3.1.2 Racionalidad

El problema de la racionalidad ha generado respuestas *racionalistas* y *antirracionalistas*

El concepto de racionalidad, por su parte, también ha admitido dos grandes tipos de análisis. El enfoque *racionalista* (en sus versiones clásica o refinada) plantea una idea a priori de racionalidad, generalmente anclada en la lógica del pensamiento hipotético-deductivo. Esta idea se utiliza luego como criterio normativo para la evaluación del desarrollo de las disciplinas científicas. Al racionalismo se oponen diversos enfoques *antirracionalistas*, entre los que destaca por su gran difusión y arraigo el *relativismo*,

para el cual la influencia del medio, de la cultura y de la época son factores externos que delimitan la validez de las verdades de las ciencias naturales. (Urrea, 2001: 101)

Se introduce el concepto de *racionalidad moderada*

Entre los enfoques parcialmente antirracionalistas, nos interesa especialmente el que trabaja con el concepto de *racionalidad moderada* (Newton-Smith, 1987; Izquierdo 1990a, 1990b), que presupone que la empresa científica es racional en tanto que alcanza una alta coherencia entre medios y fines (Giere, 1992b, 2001).

La expresión de racionalidad moderada, instrumental o *hipotética* refiere a la adecuación pragmática entre los objetivos, constructos, métodos y principios de una disciplina científica. Este *pragmatismo* puede entenderse como la dependencia que los elementos teóricos muestran, en cada momento histórico, respecto de las metas, valores y contextos de una disciplina.

La concepción moderada de la racionalidad se inserta en el marco general de la *naturalización* de la epistemología, que abandona los criterios apriorísticos. En este marco, se concibe la racionalidad

en su dinamismo, como atributo de esa empresa profundamente humana, colegial e histórica que es el desarrollo de una disciplina científica. La raíz racional de esa actividad científica consiste en esas sucesivas elecciones razonables, realizadas colegialmente en los momentos críticos de su cambio histórico. Ellas van modificando, en contacto con experiencias nuevas e imprevistas, los cuadros conceptuales que condicionan todo sistema lógico y toda ulterior racionalidad. (García Doncel, 1983: 56)

La naturaleza y las implicaciones del modelo de racionalidad moderada han sido estudiadas extensamente por W.H. Newton-Smith (1981), que es además el creador de la expresión de *temperate rationalism*. Newton-Smith afirma que este modelo de racionalidad, para ser verdaderamente explicativo en la epistemología, debería combinarse con un modelo de correspondencia *causal y realista*.

La epistemología de Giere es racionalista

En el marco de la racionalidad moderada, un modelo epistemológico de juicio particularmente potente es el modelo *decisional* que propone Giere (1992b, 1999c). Este modelo rebate la aproximación *bayesiana* al juicio científico, y es además compatible con una concepción *abductiva* de la actividad científica (Samaja, 1994).

5.3.1.3 Sustento epistemológico

El primer campo que hemos propuesto ya ha sido sugerido en formulaciones similares por diversos epistemólogos (Bunge, 1980, 1985; Newton-Smith, 1981; Hacking, 1983; Giere, 1992b; Rosenberg, 2000). En este sentido, es práctica común asociar los problemas de correspondencia con los de racionalidad, y además ubicarlos en el centro mismo de la epistemología clásica, que queda así caracterizada por esta perspectiva gnoseológica y justificacionista¹²⁶.

Mario Bunge (1985), por ejemplo, trata este mismo campo teórico estructurante decantándose por el extremo realista y racionalista, coherente con su filiación neoanalítica, aunque se aparta explícitamente del entendimiento clásico estrecho de

¹²⁶ Esto es, una perspectiva centrada en el conocimiento científico y en cómo este es aceptado por la comunidad científica.

ambas posiciones:

La racionalidad que aquí se defiende es la que suponen y sancionan la ciencia, la técnica y la acción planeada. Esta racionalidad es global: no se limita a las operaciones conceptuales sino que también abarca las empíricas así como la evaluación. En este sentido amplio, quienes diseñan experimentos, artefactos o planes de acción factibles no son menos racionalistas que quienes construyen teorías o demuestran teoremas. (...)

El racionalista global es también realista cuando emprende la exploración del mundo exterior o su transformación. Adopta, casi siempre tácitamente, la tesis de que el mundo exterior existe independientemente de nuestra percepción y nuestra ideación, y que es cognoscible y transformable al menos parcialmente. En este libro se propugna una variedad especial de realismo: el científico, según el cual la ciencia puede darnos la mejor representación de la realidad, así como la mejor base para modificarla. A diferencia del realista ingenuo, el realista científico admite la necesidad de inventar abstracciones y adoptar convenciones, así como de sujetar la experiencia y la acción al control teórico. (pp. 9-10)

Ronald Giere (1992b, 1999a), en cambio, trata más equilibradamente ambos polos en los dos ejes de este campo estructurante, aunque también define luego su propia postura teórica. Este autor, además, introduce la concepción *ortogonal* de las ideas de correspondencia y racionalidad (llamadas por él de *representación* y *juicio*, respectivamente), que es retomada por Cathleen Loving (1998) dentro de la didáctica de las ciencias.

Para la didáctica de las ciencias, nos interesa el retorno de la epistemología al realismo y al racionalismo	Por su parte, tanto W.H. Newton-Smith (1981) como Ian Hacking (1983), en sendos libros de tesis, se ocupan de este primer campo teórico estructurante. Ambos autores hacen un recorrido histórico de las posturas epistemológicas que se han dado al respecto, y además reflejan en sus obras el notable <i>retorno</i> al racionalismo y al realismo que actualmente experimenta la epistemología. Nos interesa consignar este retorno, pues es objeto de la más importante de nuestras ideas epistemológicas clave en la primera aplicación.
--	--

5.3.1.4 Sustento didáctico

Mercè Izquierdo (1999b: 86-87) plantea cuatro “preguntas propias del conocimiento” que los profesores de ciencias deberían contestar para llevar a cabo el proceso de transposición didáctica:

1. ¿Por qué queremos conocer el mundo?
2. ¿Cómo conectan las teorías y los hechos?
3. ¿Cómo cambian las ciencias?
4. ¿Nos dicen algo las ciencias sobre el mundo?

Mercè Izquierdo propone incorporar un modelo realista y racionalista a la formación del profesorado de ciencias	Izquierdo llama a la tercera pregunta la cuestión de la <i>racionalidad</i> , y a la cuarta, la cuestión del <i>realismo</i> ¹²⁷ . Podemos afirmar entonces que esta autora considera que nuestro primer campo teórico estructurante es de importancia estratégica para la formación epistemológica inicial y continuada del profesorado de ciencias.
---	--

Otra propuesta teórica, dentro de la propia didáctica de las ciencias, que nos sirve para afirmar la centralidad de este primer campo estructurante, es la que realiza Cathleen Loving (1998). El *perfil de teoría científica (scientific theory profile, STP)* que ella ha desarrollado, es un gráfico bidimensional que pretende analizar las diversas posturas epistemológicas existentes con relación a las siguientes dimensiones:

1. el *valor* que estas posturas atribuyen a las teorías, es decir, la forma en que las teorías son juzgadas para ser aceptadas o rechazadas, y
2. la *verdad* que estas posturas atribuyen a las teorías, es decir, lo que estas teorías representan.

Estas dos dimensiones –como se dijo, llamadas en la formulación Giere/Loving *juicio* y *representación* respectivamente– son consideradas independientes (ortogonales) entre

¹²⁷ Estas preguntas son versiones más restringidas de nuestras ideas estructurantes de racionalidad y correspondencia.

sí, y definen cuatro grandes *espacios* epistemológicos en los que se ubican los diferentes autores (figura 5.3).

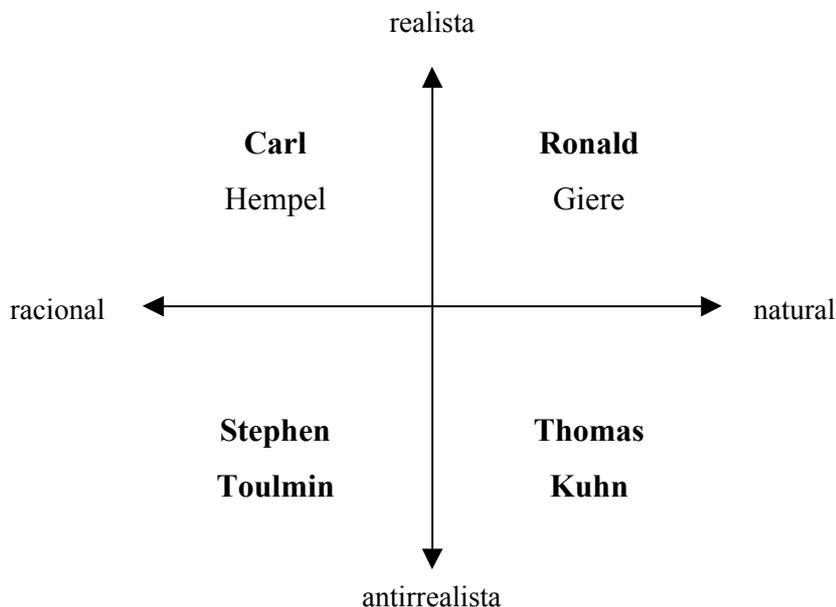


Figura 5.3 El perfil de teoría científica (STP) con la ubicación de cuatro epistemólogos paradigmáticos. El eje horizontal se llama *juicio* y el eje vertical, *representación*.

Puede verse que estas dimensiones de análisis se corresponden, hasta cierto punto, con las dos que conforman nuestro campo teórico estructurante de correspondencia y racionalidad. Sin embargo, en parte no estamos de acuerdo con la formulación Giere/Loving, que opone en un eje los juicios racional y natural. Para nosotros, el grado de racionalidad y el grado de naturalismo son dos dimensiones independientes. Estrictamente, lo contrario al racionalismo sería el antirracionalismo (incluyendo el *irracionalismo* y el *anarquismo* epistemológico). El juicio natural, en cambio, se opondría a las posturas *positivista*, *normativa* y *apriorística*.

El perfil de teoría científica es utilizado mediante un conjunto de *posibilitadores* (*enablers*) (Loving, 1998: 140-147), que nosotros encontramos de interés para la formación del profesorado de ciencias, porque permiten:

1. Ubicar a diversos epistemólogos en el STP.
2. Ubicar a científicos y didactas de las ciencias en el STP.
3. Analizar debates científicos actuales.
4. Evaluar las perspectivas epistemológicas de los libros de texto y materiales curriculares.
5. Describir controversias actuales con respecto a la comunidad científica.
6. Analizar la epistemología subyacente a la divulgación científica.
7. Relacionar modelos sobre la cognición con modelos epistemológicos¹²⁸.
8. Analizar tópicos que ejemplifiquen las limitaciones actuales de las teorías científicas.
9. Evaluar ideas científicas perimidas.
10. Describir las etapas del desarrollo de una explicación científica.

Recuperamos el protocolo de Nott y Welligton (capítulo 3)

Por su parte, Mick Nott y Jerry Wellington (1998a, 1998b), creadores del protocolo ya clásico para la investigación NOS (Nott y Wellington, 1993), proponen los ejes de *relativismo/ positivismo* y de *instrumentalismo/realismo* como elementos conceptuales para la formación epistemológica del profesorado de ciencias. Estos dos ejes se corresponden en gran medida con nuestras ideas de racionalidad y correspondencia, respectivamente.

5.3.2 Representación y lenguajes

La epistemología estudia la forma en que los científicos representan el mundo y comunican sus representaciones

Con *representación*, nos referimos a la operación por la cual el conocimiento sobre el mundo, que proviene de procesos cognitivos de modelización, se objetiva y se comunica mediante conjuntos organizados de herramientas simbólicas, que constituyen *lenguajes* en sentido amplio.

¹²⁸ Para Izquierdo (1999b), este es uno de los requisitos indispensables que se han de pedir a los modelos epistemológicos que se utilicen en la didáctica de las ciencias.

Tradicionalmente, la epistemología ha considerado el estudio de las *teorías* científicas como una de las piedras angulares de la investigación representacional acerca del conocimiento científico estructurado (Estany, 1993). Como afirma Peter Achinstein (1968):

One of the central aims of science is the construction of theories; and one of the central aims of the philosophy of science is the study of the concept “theory”. (p. 121)

Clásicamente, los epistemólogos han examinado las diferentes entidades conceptuales de la ciencia (conceptos, principios, definiciones, hipótesis, leyes, tipos, modelos, ...), proponiendo una jerarquía entre ellas. En esta jerarquía, la teoría ocupaba el sitial más alto, siendo la categoría más compleja y abarcativa¹²⁹.

La epistemología clásica (de la primera época) seleccionó la *teoría* como la unidad de análisis más pertinente para la reconstrucción racional de las ciencias (Estany, 1990, 1993). Se supuso que la representación (realista y racionalista) que la ciencia hace del mundo estaba objetivada proposicionalmente en los diversos sistemas conceptuales altamente organizados que constituyen las teorías científicas.

Se introduce la <i>concepción</i> <i>basada</i> <i>en teorías</i>	El estudio exhaustivo de la estructura <i>sintáctica</i> 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 (Suppe, 2000). Esta <i>concepción basada en teorías</i> (Giere, 1992b) ha privilegiado el lenguaje formal o especializado, entendido como un perfeccionamiento del lenguaje natural, como la forma de representación científica por excelencia (Hempel, 1988).
---	---

¹²⁹ Más recientemente, se han propuesto unidades de análisis de orden superior a la teoría, tales como los *paradigmas*, los *programas de investigación*, las *tradiciones* y las *matrices epistémicas*. En Estany (1990) hay una presentación general de estas unidades.

Una teoría es, según la concepción clásica (positivista lógica),

un conjunto de proposiciones (...) ordenadas por la relación de deducibilidad (...), un sistema hipotético-deductivo en el sentido de que es expresable de tal manera que toda fórmula que hay en el sistema constituye o bien una premisa inicial (hipótesis, axioma, dato) o una consecuencia lógica de un conjunto inicial de suposiciones. (Bunge, 1983: 225)

Esta concepción, por su énfasis en la enunciación *lingüística* de las teorías, se identifica con el llamado *enfoque proposicional* y con una concepción *atomista* del lenguaje, que considera que el *concepto* científico es tanto la unidad *funcional* (Achinstein, 1968) como la unidad *evolutiva* (Toulmin, 1977) de la ciencia:

[L]os conceptos de la ciencia son las herramientas de trabajo del pensamiento científico: son los modos en que el científico ha aprendido a comprender los fenómenos complejos, a darse cuenta de sus relaciones mutuas y a representarlos en forma comunicable. (Wartofsky, 1978: 21)

El proyecto primigenio del Círculo de Viena incluía el ambicioso propósito de conseguir la axiomatización y formalización de las teorías de *todas* las ciencias. Mario Bunge (1983: 238-241) identifica tres tipos de tratamiento logicista de la estructura teórica que extienden este ideal inicial en las décadas del '70 y '80¹³⁰:

1. el *tratamiento conjuntista*, basado en el concepto de *extensión*,
2. el *tratamiento algebraico*, basado en el concepto de *filtro*, y
3. el *tratamiento categorial*, reservado principalmente a la metamatemática.

Sin embargo, el análisis epistemológico de las teorías en esta línea ha probado ser hasta el momento muy complicado, y los resultados a los que se ha llegado, poco concluyentes. Esto puede deberse, como lo afirma Ronald Giere (1986, 1992b), a la enorme complejidad y heterogeneidad de las teorías científicas, que, de hecho, no estarían del todo claramente definidas ni demarcadas.

¹³⁰ Estos tratamientos se inscriben en la concepción heredada y en la *epistemología analítica*, que es la versión actual de aquella.

Problemas de la concepción basada en teorías

Creemos con este autor que las caracterizaciones disponibles del concepto de teoría adolecen de varios problemas:

1. Son *reconstrucciones racionales*, que se alejan de las genuinas teorías científicas tal y como estas son concebidas y usadas por los científicos en su trabajo.
2. Son *normativas*, en el sentido de que transplantan una idea predeterminada de teoría, u obtenida a partir de ciertos aspectos del análisis de las ciencias naturales más desarrolladas, a todos los campos científicos.
3. Enfatizan los aspectos *lógico-lingüísticos*, en detrimento de los auténticamente representacionales.
4. Pretenden obtener una imagen *formal*, cerrada y rígida de teoría, en términos de condiciones necesarias y suficientes, completamente definida por un conjunto de enunciados, y axiomatizada más o menos rigurosamente.

Es por ello que estos programas epistemológicos tan formales han tropezado con serios obstáculos a la hora de operar sobre las teorías científicas naturales, pues

la teoría de modelos no se puede aplicar sin dificultades adicionales al análisis semántico de las teorías factuales, es decir, a las teorías con referencia factual. (Bunge, 1983: 252)

El análisis clásico de las teorías empíricas, aunque en desuso, nos ha legado una tradición de atención a ciertos aspectos intrínsecos de la teorización científica que aún hoy siguen siendo de importancia para conceptualizar este proceso desde los puntos de vista epistemológico y didáctico. Una condición epistémica fundamental que las teorías científicas deben cumplir es la de *consistencia externa*, definida como la

compatibilidad con el cuerpo de datos, hipótesis y teorías ya corroboradas. (Bunge, 1983: 255)

Pero también se hace énfasis en la facultad de predecir;

una teoría científica debería poseer un *poder predictivo* importante, acompañado de exactitud y originalidad. (Bunge, 1983: 256; cursivas en el original)

Otra característica epistémica, relacionada con la anterior, es la capacidad de *explicar* teóricamente, que es central para la ciencia:

Toda teoría debería ser capaz de explicar, al menos en principio, la mayor parte del dominio que trata de cubrir; en pocas palabras, debe poseer un *poder explicativo* sustancial. (Bunge, 1983: 257; cursivas en el original)

En contra de esta posición tradicional, los modelos de ciencia más actuales enfatizan el carácter *representacional* (simbólico, analógico, operativo) del conocimiento científico, dejando un poco de lado sus aspectos formales, que quedan por tanto relativizados. Así, los nuevos 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, 1992a, 2001; Nersessian, 1992; Izquierdo, 1999a).

En las últimas cinco décadas ha emergido y se ha consolidado un campo interdisciplinar de estudios conocido como *ciencia cognitiva*, extensamente aplicado al estudio de la ciencia y de su enseñanza (Nersessian, 1992; Donovan et al., 1999; Izquierdo, 1999a; Gardner, 2000). 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, entre los que destacan los modelos.

Se recupera la *concepción basada en modelos* En la epistemología también se ha dado este giro cognitivo con la aparición de la llamada *concepción basada en modelos* (*model based view*) para explicar la estructura y evolución de las ciencias eruditas (Giere, 1992b; Suppe, 2000). La concepción basada en modelos cuestiona frontalmente la visión sintáctica

tradicional y se decanta por una perspectiva semántica (Suppe, 2000).

Ahora bien, tanto las teorías como los modelos, en tanto que representaciones, se expresan y se comunican por medio de diversos *lenguajes* (lenguaje científico formal, lenguajes simbólicos varios, lenguaje computacional, ecuaciones, fórmulas, gráficas, analogías, metáforas, narraciones, maquetas, simulaciones):

Toda teoría se expresa en un lenguaje artificial o simbólico que en la mayoría de los casos consiste en una combinación (o más exactamente, en la unión) de diversos lenguajes. (Bunge, 1983: 227)

El lenguaje especializado de la ciencia difiere en muchos aspectos del lenguaje natural, pero surge y se alimenta de él, y conserva muchas de sus características:

La ciencia ha creado lenguajes artificiales de gran rigor y elegancia, pero ha tenido que hacerlo hablando nuestros lenguajes naturales comunes y relacionando, mientras tanto, el mundo tal cual está representado en nuestro lenguaje y percepción corrientes con ese mundo de lenguaje y percepción extraordinarios que el discurso científico pone de relieve. (Wartofsky, 1978: 20)

Recuperamos las visiones contemporáneas de la *lingüística de la ciencia*

La epistemología 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* (Gross, 1990), recuperan el valor de la *abducción*, la *analogía* y la *metáfora* como mecanismos de construcción de sentido en la ciencia erudita y escolar (Greca y Moreira, 1998; Izquierdo, 1999b; Osborne, 1999; Christidou y Koulaidis, 2001), a la vez que propugnan por una concepción *multisemiótica* del lenguaje científico, que incluya de manera coordinada las diversas formas de representación.

Esta concepción contemporánea de los lenguajes científicos permite recuperar la notable importancia que tiene el proceso analógico en la ciencia erudita y escolar. Esta importancia ha sido mostrada por diversos estudios, desde la propia epistemología¹³¹ y desde la didáctica de las ciencias¹³².

5.3.2.1 Sustento epistemológico

El estudio de la representación ha generado las tradiciones sintáctica y semántica	Los problemas de <i>representación</i> aparecen tratados extensamente a lo largo de toda la historia de la epistemología (van Fraassen, 1980; Suppe, 2000). Estos problemas han sido centrales en el debate alrededor de la aproximación sintáctica o semántica al estudio de las teorías científicas (Coffa, 1991).
--	--

En general, podemos decir que nuestra idea de representación constituye la parte analítica del problema de la *ontología* (figura 5.2), que se centra en la naturaleza y el alcance de las *entidades* científicas. El concepto de representación complementa así la idea sintética de correspondencia, ya expuesta en el campo anterior. Tenemos entonces que:

correspondencia + representación = ontología

El estudio de la representación científica implica una aproximación a la ciencia que es:

1. *analítica*, porque identifica las unidades con las cuales se construye todo el edificio teórico de la ciencia,
2. *estructural*, porque enlaza estas unidades por medio de herramientas formales, y
3. *sincrónica*, porque se concentra en la forma en que las representaciones científicas conectan, en cada momento histórico, con los hechos

¹³¹ Hesse (1966); Achinstein (1968, 1989); Gross (1990); Wolpert (1992).

¹³² Duit (1991); Flick (1991); Ingham (1991); Clement (1993); Ogborn et al. (1996); Lemke (1997); Christidou y Koulaidis (2001); Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001); Adúriz-Bravo, Gómez Moliné y Sanmartí (2001); Adúriz-Bravo y Morales (en prensa).

científicos.

Por su parte, el estudio de la correspondencia implica una aproximación:

1. *sintética*, porque compara los bloques estructurales con su referencia real,
2. *funcional*, porque estudia los procesos de referencia, y
3. *diacrónica*, porque se concentra en la forma en que las representaciones científicas son seleccionadas a lo largo de la historia de la ciencia.

La ontología, entonces, implica un estudio multidimensional de las entidades del conocimiento científico, atendiendo coordinadamente a los seis aspectos anteriores.

5.3.2.2 Sustento didáctico

Nott y Wellington y Mercè Izquierdo introducen este segundo campo en la formación epistemológica del profesorado de ciencias	Nott y Wellington (1993, 1996), al construir las dimensiones de evaluación del perfil NOS de los profesores de ciencia, hablan de <i> ontología</i> , <i> gnoseología</i> y <i> axiología</i> , dimensiones todas que están pivotadas alrededor del problema de la representación científica. Sin embargo, ninguna de ellas se corresponde estrictamente con nuestro campo teórico estructurante.
--	---

Por otra parte, la pregunta planteada por Izquierdo (1999b) sobre cómo conectan las teorías y los hechos, implica introducir la reflexión sobre la representación científica en la formación del profesorado de ciencias.

5.3.3 *Intervención y método*

La epistemología analiza la <i> práctica científica</i>	Paralelamente al enfoque lógico-lingüístico que ha quedado esbozado en nuestro desarrollo de los dos primeros campos teóricos estructurantes, ha existido desde siempre en la epistemología la preocupación <i> metodológica</i> , particularmente importante hasta mediados del siglo XX (Samaja, 1994; Echeverría, 1999). El <i> método científico</i> ha sido una de las grandes cuestiones estructurantes examinadas por los
---	--

epistemólogos, al punto de que los modelos metodológicos han constituido una de las componentes principales de la disciplina.

El enfoque metodológico está concentrado en algunas características esenciales del *proceso* científico que son susceptibles de algoritmización. Es entonces un enfoque complementario al que se centra en el *producto*, preocupado por el análisis del conocimiento científico. Así caracteriza Max Wartofsky (1978) la oposición entre los enfoques epistemológicos de proceso y de producto:

La ciencia es un modo de conocer el mundo y también un cuerpo de conocimiento. Cabe caracterizarla en función de un proceso de investigación, de una búsqueda de la verdad, y es posible caracterizarla también como la estructura o cuerpo formado por la acumulación de las verdades fundadas, o presuntas verdades, que tal búsqueda haya originado. (p. 31)

A lo largo de la historia de la epistemología, se han dado las más variadas posiciones alrededor de la temática metodológica. Estas posiciones están en sintonía con los modelos epistemológicos de correspondencia y racionalidad que sus propulsores sostienen:

[L]as concepciones metodológicas expresan actitudes filosóficas más amplias y guardan relación con ciertos compromisos metafísicos explícitos o implícitos. (Gaeta et al., 1996: 62)¹³³

Hay epistemólogos que, desde una vertiente positivista, consideran que existe un *único* modelo sancionado de método científico, que debe ser impuesto normativamente a todas las disciplinas:

[A]lgunos filósofos están convencidos de que no hay –o no debiera haber– diferencias sustanciales en la metodología general de las ciencias fácticas. (Gaeta et al., 1996: 61)

¹³³ Un ejemplo particularmente potente de esta afirmación es el del famoso debate entre las metodologías del *verstehen* y el *erklären* en ciencias (Mardones, 1991; Gaeta et al., 1996).

Otros epistemólogos, principalmente de la segunda época, sostienen una postura *pluralista*, que afirma que

los métodos varían conforme a la naturaleza de las distintas disciplinas. (Gaeta et al., 1996: 9)

Este pluralismo metodológico se ha fundamentado muchas veces en la necesidad de dar cuenta en la ciencia de relaciones no causales, tales como la *relación funcional*, que no estaban contempladas en la concepción *deductivista* clásica del método:

[L]a idea intuitiva de función incluye algunas connotaciones que no están recogidas en el concepto de relación causal. (Gaeta et al., 1996: 57)

Recuperamos la <i>abducción</i> por su importancia para la didáctica de las ciencias	Por su parte, los modelos epistemológicos contemporáneos recuperan una visión unificada sobre el método científico, de extraordinario poder agrupador, que intenta reflejar lo común a todas las disciplinas científicas. Esta visión tiene como uno de sus elementos centrales la <i>abducción científica</i> , es decir, el proceso de modelización.
---	--

En la tercera época de la epistemología, el estudio de la ciencia como proceso ha experimentado un cambio importante. De la perspectiva metodológica antes expuesta se ha pasado a una perspectiva que podemos denominar *praxeológica*, enfocada en la actividad científica (Echeverría, 1995). Artigas (1989) resume bien la postura de los muchos autores que consideran la actividad objeto de estudio epistemológico relevante:

Son tres los principales aspectos que pueden distinguirse en las ciencias experimentales. En primer lugar, la ciencia es una *actividad humana* que se realiza en vistas a unos objetivos específicos. En segundo lugar, los medios que se utilizan para alcanzar esos objetivos son igualmente específicos: se trata de los *métodos científicos*. En tercer lugar, la aplicación de los métodos proporciona unos resultados, que son los *contenidos teóricos* de cada disciplina. (pp. 7-8; cursivas en el original)

Otra idea importante que cae en este tercer campo es la de *intervención*. Los modelos actuales de ciencia ponen este tipo de actividad *transformadora* en el centro del estudio epistemológico, debilitando la separación tradicional entre ciencia y tecnología.

5.3.3.1 Sustento epistemológico

La *metodología* es la epistemología del siglo XX

Ya hemos mencionado que, en opinión de muchos destacados epistemólogos, tales como el español Javier Echeverría y el argentino Juan Samaja, la cuestión metodológica ha sido fundacional desde el *Organon* de Aristóteles, y se ha constituido como la piedra angular de la investigación epistemológica en el período de entreguerras.

Varios autores de la tercera época (Hacking, 1983; Gooding, 1992; Echeverría, 1995) destacan la importancia del constructo de actividad científica, o intervención, que forma parte de este campo teórico estructurante. En esta tercera época hay también disponibles muchos estudios epistemológicos centrados en la experimentación científica (Gärdenfors, 1988; Pickering, 1989; Chalmers, 1999a, 1999b; Follari, 2000).

5.3.3.2 Sustento didáctico

Recuperamos la tradición de enseñanza del *método* en la educación científica

Los citados Nott y Wellington (1998a, 1998b) plantean que la *metodología* es otro de los ejes relevantes de la naturaleza de la ciencia, que debería formar parte de la formación del profesorado de ciencias.

Las diferentes concepciones de la metodología científica han sido clásicamente uno de los pilares de la formación epistemológica de distintas poblaciones en el contexto de la educación científica. En este sentido, tenemos presentes numerosas propuestas célebres alrededor del método aristotélico y el método hipotético-deductivo (Hempel, 1973; Koertge, 1990).

En la Argentina, en el contexto de la asignatura *Introducción al pensamiento científico*, común a los primeros cursos de todas las carreras de la Universidad de Buenos Aires, se han implementado en los últimos quince años diversas propuestas de enseñanza del método científico. Rescatamos estas propuestas¹³⁴, afinadas a lo largo de los años, por su valor para la didáctica de la epistemología.

También hay varios didactas de las ciencias que han introducido la metodología científica como tópico en sus propuestas, dirigidas a estudiantes o profesores de ciencias¹³⁵.

5.3.4 Contextos y valores

Se introducen los contextos de Hans Reichenbach

Una distinción tradicional en la epistemología es la que se estableció tempranamente entre el *contexto de descubrimiento* y el *contexto de justificación* (Reichenbach, 1938), relacionada fuertemente con otras dos distinciones paralelas:

1. la distinción entre los análisis epistemológicos *internalistas* y *externalistas*, y
2. la distinción entre los análisis epistemológicos *sincrónicos* y *diacrónicos*¹³⁶.

La epistemología clásica (de la primera época) se centró en el contexto de justificación, intentando dilucidar los mecanismos lógicos por los cuales el conocimiento científico es validado e ingresa en el cuerpo de la ciencia establecida. En este proceso de *racionalización* de la ciencia, se desdibujaron bastante los problemas de su evolución *histórica*.

¹³⁴ Expuestas en: Díaz y Heler (1988); Gaeta y Robles (1990); Gaeta et al. (1996); Guibourg et al. (1998).

¹³⁵ Ver: Gil-Pérez y Payá (1988); Dumon (1992); Moreira y Ostermann (1993); Adúriz-Bravo (1995b); Tagliabue y Gavarotto (1998); Cappannini et al. (1999).

¹³⁶ Estas otras dos distinciones epistemológicas son *correlativas* a la primera dentro de los campos teóricos estructurantes de normatividad y recursión y de evolución y juicio, respectivamente.

La irrupción del externalismo y la historia de la ciencia en la segunda época de la epistemología, obligó a repensar esta dicotomía y buscar visiones de síntesis que articularan el plano cognitivo y el plano social. Es así que se comienza a reconocer que otro contexto de importancia innegable para comprender la naturaleza de la ciencia es el contexto de *aplicación*:

A los dos contextos que menciona Reichenbach se agrega un tercero, el *contexto de aplicación*, en el que se discuten las aplicaciones del conocimiento científico, su utilidad, su beneficio o perjuicio para la comunidad o la especie humanas. Se trata de un conjunto de cuestiones que incluso tienen pertinencia para comprender los problemas propios de los contextos de descubrimiento y de justificación. (Klimovsky, 1994: 30; subrayado en el original)

Este nuevo contexto está indisolublemente asociado al problema de la *tecnología*, y conecta por tanto con el campo de intervención y método:

En cuanto a la utilización de las teorías científicas con fines prácticos hay que decir que se trata de un tema central de la filosofía de las distintas tecnologías (...). (Bunge, 1983: 260)

Rescatamos la propuesta de Javier Echeverría

Por último, Javier Echeverría (1995, 2000, 2001) añade a estos contextos un cuarto, el de *educación*, que alcanza una importancia central en el desarrollo de la ciencia¹³⁷. El modelo epistemológico de este autor es el más elaborado de que disponemos hasta el momento para dar cuenta de la riqueza que hay al interior de la ciencia. Echeverría (1995) afirma que

estos cuatro ámbitos interactúan entre sí y se influyen mutuamente: son interdependientes. Sin embargo, conviene distinguirlos para analizar la actividad científica en su auténtica complejidad. (p. 52)

¹³⁷ El contexto de educación estaba ya prefigurado en la obra de Thomas Kuhn (1971).

Los cuatro contextos de actividad científica se despliegan en diferentes *escenarios*, ubicados en lugares estratégicos de la trama social (Echeverría, 1995, 2001); en ellos se crea conocimiento, se lo valora, se lo aplica y se lo transmite. Esta diversidad de tareas nos permite incluir en la empresa científica un conjunto muy diverso de personas, que participan junto a los científicos en su funcionamiento: políticos, legisladores y economistas; filósofos, epistemólogos, historiadores, éticos y juristas; tecnólogos, ingenieros y diseñadores; profesores, didactas, diseñadores de currículo, escritores de textos; periodistas y divulgadores científicos.

El concepto de contexto está naturalmente ligado a los distintos *valores* que sustentan la actividad científica. La primera época de la epistemología propuso un modelo *neutral* de ciencia, de carácter hiper-racionalista, que expulsó el estudio axiológico hacia la sociología de la ciencia. El postmodernismo, llevando al extremo las ideas kuhnianas, exageró la influencia de los factores externos en la ciencia, al punto de llegar a afirmar que esta es *sólo* un constructo social¹³⁸.

La nueva axiología de la ciencia y los modelos decisionales naturalistas que ya hemos mencionado iluminan el problema de los valores, transformándolos en objeto de estudio de la epistemología.

5.3.4.1 Sustento epistemológico

Los primeros modelos de axiología científica se han generado muchas veces en el seno de la sociología de la ciencia de inspiración mertoniana. Actualmente, la propia epistemología ha recuperado para sí la temática. Un representante destacado de los estudios sobre contextos y valores es el mencionado Echeverría (1995, 2000).

En el ámbito de la axiología, recogemos también la propuesta de Maxwell (1992) acerca de la humanización de las ciencias.

¹³⁸ Ver: Giere (1992b).

5.3.4.2 Sustento didáctico

Los valores son una componente del currículo de ciencias

Muchos autores (Allchin, 1999; Izquierdo, 1999b; Manassero y Vázquez, 2001) hablan de la necesidad de explorar, desde diversas perspectivas, la relación entre ciencia y valores a lo largo de la educación científica:

To comprehend the importance and significance of scientific ideas, it is essential to have some insight into the social context, the dominant forms of thinking, the numerous blind alleys of pursuit, and the difficulties of persuading others of the validity of any new theoretical interpretations. (...) [A]n understanding of science as a social product, where theories are undetermined by the data (...)[,] will help students to understand, in a more intelligent an informed manner, current scientific controversies (...). (Monk y Osborne, 1997: 409)

El contexto de educación tiene un rol fundacional en las disciplinas científicas, que es rescatado desde la didáctica de las ciencias. Izquierdo (1999b) ha mostrado esto con los ejemplos de los químicos Libavius, Boerhaave, Black, Lavoisier y Hope:

Los contenidos de las ciencias se estructuran, en parte, con la finalidad de ser enseñados. (Izquierdo, 1999b: 2)

5.3.5 *Evolución y juicio*

La dinámica científica es una de las ramas más desarrolladas de la epistemología

En sus inicios, la epistemología estuvo poco preocupada por el estudio de la evolución de las disciplinas científicas y el problema del cambio conceptual. El positivismo lógico propuso un modelo simplificado de dinámica científica pivotado en la idea de *acumulación*.

La nueva filosofía de la ciencia rechazó frontalmente estas ideas, formulando a su vez modelos *revolucionistas* y *evolucionistas*, novedosos en la epistemología (Estany, 1990; Martínez y Olivé, 1997; González, 1998).

Un segundo problema que cae en esta campo es el de las llamadas *lógicas* de descubrimiento, grandes conjuntos de reglas que rigen normativamente la aceptación o el rechazo de las teorías (Lakatos, 1970). Imre Lakatos (1987) llama *metodologías* a estas lógicas, y las define como

un conjunto de reglas (...) para la evaluación de teorías ya elaboradas. (p. 12)

Lakatos (1987: 13-37) describe cuatro metodologías propuestas durante el siglo XX:

1. El *inductivismo*, que es la postura estructurada con detalle por el Círculo de Viena, y posteriormente reelaborada por medio de la lógica probabilística dentro de la concepción heredada. Para la metodología inductivista,

sólo pueden aceptarse en el cuerpo de la ciencia, aquellas proposiciones que o bien describen hechos firmes o son infalibles generalizaciones inductivas de aquéllos.

(Lakatos, 1987: 13)

Según el mismo Lakatos (1987), esta corriente epistemológica se debate entre una desatención total a la historia de la ciencia y una serie de modelos lógicos pobres para analizarla.

2. El *convencionalismo*, sistema filosófico que acepta que los modelos científicos son verdaderos por convención en la comunidad científica. En su versión *revolucionista* (Lakatos, 1970), asociada a Bergson, admite cambios radicales en el cuerpo teórico instrumental.

La postura de Lakatos (1987) considera que el *instrumentalismo*, como forma de representación, es una degeneración del convencionalismo causada por una fundamentación lógica insuficiente. En este sentido, afirma que el convencionalismo de Sir Karl Popper es el único filosóficamente justificado.

3. El *falsacionismo metodológico*, en su versión ingenua (Lakatos, 1970).
4. La *metodología de los programas de investigación científica*. Esta es la propuesta propiamente dicha de Imre Lakatos, trasladada también al plano *metametodológico*.

En la misma línea del estudio de la dinámica científica, se encuentran los trabajos de Stephen Toulmin (1977) y Larry Laudan (1978, 1998), que introducen nuevas unidades de análisis.

El problema del *juicio*, es decir, de cómo los científicos en tanto que corporación eligen entre teorías rivales, está relacionado naturalmente con el de evolución científica. El naturalismo actual ha generado diversos modelos decisionales para atacar este problema.

5.3.5.1 Sustento epistemológico

Anna Estany (1990) es una de las autoras que más destaca la importancia central que tuvo la idea de *evolución* científica en el afianzamiento de la nueva filosofía de la ciencia a partir de la posguerra.

5.3.5.2 Sustento didáctico

La consideración de ejemplos paradigmáticos de revoluciones científicas aparece en muchísimas propuestas de la didáctica de las ciencias¹³⁹. Por otra parte, rescatamos el trabajo de Estany mencionado en el punto anterior, su libro *Modelos de cambio científico* (Estany, 1990), que ha generado propuestas de formación dirigidas a filósofos y científicos.

¹³⁹ Por ejemplo: di Sessa (1983); Solaz y Sanjosé (1992); Bizzo (1993); Osborne y Freyberg (1995); Simón e Izquierdo (1995); Barrado et al. (1998); Abell et al. (1999); Pozo (1999a); Linn y Slotta (2000); Solbes y Traver (2001); Izquierdo (en preparación).

5.3.6 Normatividad y recursión

En la epistemología pueden distinguirse varios órdenes de discurso

El último campo se refiere a la *reflexión* que la propia epistemología realiza sobre sí misma (Moulines, 1991; Estany, 1993), proyectándose así en un *tercer* orden de discurso.

Desde un punto de vista formalmente estricto, una metateoría es una teoría cuyo objeto de predicación es otra teoría:

Una metateoría (...) es aplicable a cualquiera de los aspectos siguientes de una teoría (o grupo de teorías) objeto: la sintaxis o estructura, la semántica o contenido, la pragmática o uso, o finalmente, la filosofía de la teoría (o conjunto de teorías) en cuestión. (Bunge, 1983: 233-234)

Pero, debido a la capacidad recursiva de la epistemología, podemos pensar en metateorías, y así sucesivamente (Moulines, 1991).

La idea de *normatividad* remite a distinguir entre una epistemología explicativa y otra prescriptiva

Dentro de las metaciencias, una discusión que actualmente está en su apogeo es la que hace a la *naturaleza* de los saberes metacientíficos y a su relación con la actividad científica estándar. Esta discusión introduce el problema de la *normatividad*, es decir, hasta qué punto los modelos epistemológicos explicativos pueden ser usados como modelos *prescriptivos*, que determinen cómo intervenir sobre la práctica científica (González, 1998).

Los modelos de ciencia que la epistemología ha formulado a lo largo de la historia, han intentado siempre el equilibrio entre los polos de la rigidez y la simplificación. Por una parte, muchos de ellos se han propuesto atendiendo prioritariamente a las ciencias naturales; de entre ellas se han escogido a menudo las ramas más desarrolladas de la física como molde para el resto de las disciplinas. En palabras de Chalmers (1992):

Los filósofos que adoptan este enfoque consideran, de forma típica, que la física y su historia ilustran la ciencia en todo su esplendor. (p. 17)

Este procedimiento ha conducido las más de las veces a modelos exageradamente racionalistas, que son incapaces incluso de dar cuenta de las características de otras disciplinas dentro del ámbito de las propias ciencias naturales, para el cual fueron específicamente formulados.

Un problema que se plantea, entonces, es que un modelo de ciencia satisfactorio *debería ser transferible*, en mayor o menor medida, a cualquier disciplina tenida como científica, aun cuando se formule inicialmente para un cierto conjunto de disciplinas. Esto no quita que se tenga en cuenta la naturaleza de cada disciplina particular, que para explicarse más acabadamente necesitará de adaptaciones o especificaciones del modelo general.

El segundo problema aparece al ampliar nuestra caracterización de la ciencia. Si esta caracterización no asume la forma de un genuino modelo (esto es, se queda en lo descriptivo), o explora y destaca los aspectos más inespecíficos de la ciencia en tanto que actividad humana, corre el riesgo de “explicar” poco interesadamente las ciencias y, al tiempo, todo un amplio conjunto de eventos no científicos. De esta manera, se falla al intentar *demarcar* la eficacia transformadora de la empresa científica, o su papel central en la cultura occidental. Tal es el problema, creemos junto con Giere (1992b), de los modelos exageradamente relativistas del *anarquismo* epistemológico (Feyerabend, 1975) y del *construccionismo* social (Bloor, 1976).

Actualmente, sin embargo, disponemos de una serie de modelos epistemológicos que superan estos dos problemas, siendo ampliamente aplicables y adecuadamente demarcatorios. Estos modelos conciben la ciencia como una actividad compleja, con sus propias reglas de funcionamiento, que da como resultado un producto específico, el conocimiento científico.

5.3.6.1 Sustento epistemológico

Ulises Moulines, uno de los epistemólogos más importantes de la actualidad, titula uno de sus libros como *Pluralidad y recursión* (1991). En este libro hay un capítulo completo dedicado a la idea de la epistemología como pensamiento recursivo.

Estany (1993), por su parte, propone una estructuración de tercer orden de la epistemología que tiene en cuenta tres *niveles* de discurso y tres *aspectos* de análisis.

5.3.6.2 Sustento didáctico

Algunos didactas de las ciencias proponen para el profesorado de ciencias introducciones generales a la epistemología

Nott y Wellington (1998a, 1998b) también dedican un eje de su protocolo a la cuestión *didáctica*¹⁴⁰ de considerar la ciencia ya como un contenido, ya como un proceso a la hora de transponerla y enseñarla.

Los citados Monk y Osborne (1997) proponen a los profesores de ciencias la distinción entre las creencias justificadas e injustificadas, que es uno de los tópicos fundamentales de la epistemología, la cuestión que hemos llamado de *demarcación*. Esta cuestión es de naturaleza intrínsecamente recursiva, y por ello se corresponde con nuestro campo teórico estructurante de normatividad y recursión. Sin embargo, podemos considerar que en su sentido más amplio resume el sistema completo de los seis campos.

Nosotros hemos llevado las ideas de normatividad y recursión a la formación del profesorado de ciencias a través de dos procedimientos:

4. la creación de una *matriz* que toma las ideas de Anna Estany sobre niveles y aspectos de la epistemología (Adúriz-Bravo, 1999e), y
5. la adaptación de nuestro propio protocolo NOS para el autoanálisis epistemológico.

¹⁴⁰ Ellos, que escriben desde la tradición anglosajona, llaman a esta la cuestión *pedagógica*.

* * *

Se introduce la *matriz de épocas y campos* El sistema de campos teóricos estructurantes de la epistemología puede ser combinado con las épocas, presentadas en el capítulo anterior. La combinación de ambos constructos da lugar a lo que hemos llamado la *matriz de épocas y campos* (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001f). Esta es una matriz de dieciocho casillas que surge de desarrollar cada campo en sus tres épocas.

Como los campos y las épocas son dobles, tenemos en realidad un panorama de cuarenta y ocho combinaciones, en el cual podemos ubicar los diferentes modelos epistemológicos del siglo XX que seleccionemos para ser enseñados.

5.4 Una puesta en marcha de los campos teóricos estructurantes

El tópico de *explicación científica* condensa ideas de varios En la intersección de los tres primeros campos estructurantes (figura 5.3) se encuentra uno de los grandes temas de la epistemología clásica, el de la *explicación científica*, que ha sido llamado por Anna Estany el “alfa y omega del análisis de la ciencia” (Estany, 1993: 228). Este es uno de los tópicos más tratados desde la aproximación representacional canónica de la epistemología *analítica* (Hempel, 1979; Gillies, 1993; Gaeta et al., 1996; Rosenberg, 2000):

Una de las tareas características del análisis epistemológico es el examen de las diferentes clases de explicaciones que surgen de la investigación científica. (Gaeta et al., 1996: 7)

El tema de la explicación científica está también profundamente conectado con las cuestiones metodológicas:

[E]l concepto de explicación ha merecido una particular atención por parte de los filósofos de la ciencia. Su análisis se entrelaza con la problemática de otros tópicos

centrales de la epistemología, especialmente con el papel que cumplen las leyes y los modos de inferencia que caracterizan la investigación científica. (Gaeta et al., 1996: 9)

De allí la importancia de tenerlo contemplado y caracterizado con el sistema de campos teóricos estructurantes que hemos propuesto.

Dado el poder unificador del tópico de explicación científica, creemos que el análisis de la sucesión de los modelos teóricos que las tres épocas de la epistemología han elaborado para dar cuenta de él, resulta una forma interesante de acceso a la problemática de esta disciplina.

Como lo expresan Gaeta y sus colaboradores (Gaeta et al., 1996: 9-10):

[L]as distintas teorías que se han elaborado acerca de la explicación reflejan los contrastes propios de la diversidad de concepciones que despliega el panorama epistemológico contemporáneo.

La matriz de épocas y campos nos permite elaborar un acercamiento “pendular” al tópico de la *explicación científica*

Esta introducción histórico-temática a la epistemología, centrada en los modelos disponibles para la explicación científica, puede ser usada con provecho en la formación del profesorado de ciencias (Baker y Clark, 1989; Estany, 1993; Izquierdo, 1999b)¹⁴¹. De hecho, inspirándonos en parte en Izquierdo (1998a), pero modificándola sustancialmente, nosotros hemos planteado una presentación “pendular” de tres abordajes teóricos sucesivos para el problema de la explicación (Adúriz-Bravo, 2000a).

En el segundo apéndice se reseña brevemente nuestra propuesta. En la figura 5.4 se resumen sus características principales.

¹⁴¹ La centralidad del tópico de la explicación para la educación científica ha sido reconocida por diversos didactas de las ciencias (Thagard, 1992a; Reif, 1995; Sutton, 1996; Duschl, 1997; Matthews, 2000).

	<i>Positivismo lógico y concepción heredada</i>	<i>Racionalismo crítico y nueva filosofía de la ciencia</i>	<i>Postmodernismo y visiones contemporáneas</i>
<i>Analogía para la explicación</i>	razonamiento	práctica y discurso	modelo
<i>Tipo de lógica</i>	deductiva	inductiva	abductiva
<i>Correspondencia</i>	realista ingenua	instrumentalista	realista crítica
<i>Racionalidad</i>	racionalista categórica	relativista	racionalista moderada
<i>Método</i>	de cobertura legal	pragmático e ilocutivo	modelización
<i>Autor paradigmático</i>	Hempel	von Wright Achinstein	Giere

Figura 5.4 Resumen de nuestra propuesta didáctica alrededor de la explicación, que unifica varios de los campos teóricos estructurantes.

5.5 Algunos comentarios sobre la validez de los campos teóricos estructurantes

Referimos a los *índices de validez* de nuestra propuesta (capítulo 7) En esta sección, se recogen algunos comentarios críticos a nuestra propuesta, que han ido surgiendo de sucesivas implementaciones, brevemente descritas en el capítulo 7, tanto a nivel de experiencias de formación del profesorado de ciencias, como a nivel de discusión con epistemólogos y didactas de las ciencias en foros de intercambio académico.

Una cuestión general que subyace al sistema de campos teóricos estructurantes que hemos propuesto, es su finalidad *didáctica*, inseparable de ellos, que tiñe fuertemente tanto la forma en la cual los campos han sido seleccionados y formulados, como la manera en que ellos se ponen en acción en la enseñanza de la epistemología.

En la transposición didáctica de la epistemología, respetamos su estructura profunda, siendo coherentes con nuestra concepción histórico-didáctica de las disciplinas (capítulo 3)

Ahora bien, suponer que los conceptos epistemológicos que son clave para la enseñanza de la disciplina y los que son clave para la estructuración de la disciplina, son *identificables* unos con otros es una apuesta fuerte, pero para nada arbitraria. Está basada, como se dijo, en suponer un origen y un desarrollo intrínsecamente didácticos en las disciplinas científicas (Hannaway, 1975; Nye, 1993; Izquierdo, 1999b, en preparación).

Sin embargo, cabe aclarar que esta identificación entre las estructuras de coherencia sintáctica y curricular de la epistemología, para ser coherente con nuestro modelo de transposición didáctica, debe ser sólo establecida en el nivel más profundo, referido a los *modelos teóricos* implicados.

5.5.1 *Completitud de los campos*

Por una cuestión retórica, según se expone nuestro marco conceptual en esta primera parte de la tesis, parecería inferirse que la identificación de las épocas, campos e ideas clave de la epistemología del siglo XX se realizó en tres momentos separados y sucesivos. Estos tres constructos, sin embargo, surgieron ligados íntimamente en las primeras experiencias de formación epistemológica del profesorado de ciencias en las que participamos en España¹⁴². Esto tuvo implicaciones directas en la completitud del sistema de ideas.

Un problema que cae bajo el apartado de la completitud es el que surge al afirmar que los seis campos postulados engloban *todas* las ideas más relevantes de la epistemología. Para sustentar esta afirmación podemos aportar dos elementos. Por un lado, la amplitud y representatividad de la base de textos epistemológicos utilizados (55 libros). Por otro lado, el aval de diversos epistemólogos y didactas de las ciencias que han revisado

¹⁴² El proceso de desacoplamiento paulatino de nuestros tres constructos se explicita un poco en el capítulo 7.

nuestro trabajo¹⁴³.

5.5.2 *Separabilidad de los campos*

El problema de la separabilidad de los campos es interesante si se pretende que este aparato teórico esté inspirado en mayor o menor medida en la idea de los modelos irreductibles. Sin embargo, para ser utilizados como herramienta didáctica en la formación del profesorado de ciencias, no es imprescindible que los campos sean completamente separables.

La historia de la epistemología del siglo XX, según nuestra visión idiosincrásica generada a partir del análisis de textos, podría darnos algunos indicios de que los seis campos teóricos estructurantes se corresponden, grosso modo, con seis perspectivas analíticas más o menos disjuntas que fueron privilegiadas o desestimadas en las distintas épocas (Harré, 1985; Estany, 1993; Gillies, 1993; Losee, 1997; Echeverría, 1999; Rosenberg, 2000).

5.5.3 *Significatividad de los campos*

La significatividad que pueda tener nuestra propuesta de organización de los contenidos epistemológicos es naturalmente relativa a las características particulares de la intervención de formación en la cual se usen: la población a la que se dirige, los valores, los objetivos específicos.

La propuesta de los campos teóricos estructurantes es genérica; por ello, puede dar lugar a implementaciones muy diferentes. Aquí se abre entonces el juego al profesorado de ciencias para implementar variaciones en la dimensión de *métodos* (capítulo 3).

¹⁴³ Un ejemplo particularmente revelador de este mecanismo de validación son los comentarios favorables de los evaluadores de las publicaciones relacionadas con esta primera parte de la tesis (particularmente: Adúriz-Bravo, en prensa-d; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001f; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany, en prensa).

5.5.4 Relevancia didáctica de los campos

Los campos teóricos estructurantes de la epistemología, tal cual los hemos formulado, son demasiado abstractos y generales para ser utilizados sin más en la educación científica o en la formación del profesorado de ciencias. En este sentido, pueden constituirse en *organizadores* de un curso de metaciencias con relevancia didáctica, pero no deben ser considerados contenidos epistemológicos en sí mismos.

Es por ello que, como ya hemos avanzado, sugerimos materializar los campos a través de las ideas epistemológicas clave (figura 3.3). Las ideas clave son afirmaciones formuladas en un lenguaje relativamente sencillo; estas ideas son más generales que los *postulados* epistemológicos que ya hemos discutido.

5.5.5 Validez consecucional

Retomamos ahora el constructo de *validez consecucional* (Messick, 1994). Intentamos mostrar un índice de validez de nuestro trabajo: el resultado del uso de los campos para el análisis de contenidos de una propuesta completa de enseñanza de la epistemología.

El apéndice 3 usa la matriz de épocas y campos para el análisis curricular

En el tercer apéndice se muestra una aplicación de la matriz de épocas y campos al análisis curricular. Se analiza la asignatura *Bases epistemològiques de la didàctica de las ciències*, dictada por Mercè Izquierdo en la Universitat Autònoma de Barcelona.

Un análisis de este tipo permite dar validez a nuestra propuesta en dos sentidos. Primeramente, todos los contenidos del curso caben en nuestras categorías sin demasiadas dificultades, lo que podría llevarnos a decir que el sistema está bien construido. En segundo lugar, los campos teóricos estructurantes nos dejan identificar algunos aspectos en los cuales el curso podría mejorarse o completarse. Este hecho nos permitiría apuntar a la posible utilidad futura de nuestro constructo.

En el apéndice, hemos analizado una asignatura que sintoniza grandemente con nuestro marco conceptual. Esto se evidencia en el hecho de que casi todas las épocas y campos aparecen tratados en ella. Sin embargo, la matriz de épocas y campos puede utilizarse también con otras propuestas muy diferentes, como las de David Boersema (1998) y Panagiotis Dimitriadis y otros (2001).