

La línea HPS genera propuestas prácticas de enseñanza de la epistemología

Actualmente existen en diversos países<sup>144</sup> movimientos de reforma del currículo para la formación inicial del profesorado de ciencias que propugnan por la introducción de una fuerte componente *metacientífica*, en sus facetas intrínseca, cultural e instrumental (Matthews, 1994a, 1998; McComas y Olson, 1998; Millar y Osborne, 1998). Influenciando estos movimientos renovadores, asistimos a una intensa producción académica ocupada de estudiar la incorporación de la epistemología a la didáctica de las ciencias y a la educación científica, que ya tiene más de un siglo de antigüedad (Matthews, 1998; Seroglou y Koumaras, 2001), y que, como se dijo, en este momento constituye un área de especialidad dentro de nuestra propia disciplina, el área HPS.

Ahora bien, la necesidad de incrementar en cantidad y calidad esta incorporación epistemológica en la didáctica de las ciencias, está generando un volumen de propuestas específicas, teóricas y prácticas, de muy diversa índole, volumen que se muestra en rápido crecimiento. Conforme la epistemología y la didáctica de las ciencias se integran más profundamente, las propuestas de enseñanza de la epistemología dirigidas a distintas poblaciones se hacen más abundantes, mejor fundamentadas y más fácilmente asequibles para profesores y didactas de las ciencias.

La disponibilidad de un abanico crecientemente amplio de propuestas de enseñanza de la epistemología trae consigo dificultades relacionadas con la necesidad de *evaluar* de alguna forma la calidad de tales propuestas y la posibilidad de su transferencia a los distintos escenarios de la educación científica. Creemos que nuestro aparato de las

---

<sup>144</sup> Por ejemplo: España, Francia, Reino Unido, Dinamarca, Noruega, Holanda, Estados Unidos, Argentina y Brasil.

épocas y los campos estructurantes de la epistemología puede servir de ayuda en este sentido.

Este capítulo aplica el análisis composicional a algunas propuestas de enseñanza de la epistemología

El propósito de este capítulo es aplicar la técnica de análisis composicional por campos teóricos estructurantes a diversas propuestas de enseñanza de la epistemología que circulan en la literatura especializada de la didáctica de las ciencias. Se busca sustentar así nuestra hipótesis de trabajo acerca de que el aparato conceptual que hemos desarrollado puede ayudar a los profesores de ciencias a tomar *decisiones* a la hora de implementar esas propuestas disponibles en su propia práctica profesional<sup>145</sup>.

Se resume el capítulo

En la primera sección, explicamos los lineamientos del análisis *clasificadorio* de las propuestas. Este análisis se lleva a cabo, en el cuarto apéndice, sobre treinta propuestas recolectadas, que constituyen la base de datos empírica para esta tesis.

En la segunda sección tratamos cuatro ejemplos paradigmáticos, centrados en algunas de las diferentes épocas y campos teóricos estructurantes. Los ejemplos que hemos seleccionado pueden ser considerados propuestas valiosas de enseñanza de la epistemología dentro de la didáctica de las ciencias (Izquierdo, 1998b, 1999b; Gil-Pérez, Carrascosa, Gallego y Fernández Montoro, 2000; Matthews, 2000; Adúriz-Bravo, 2001b, en prensa-d).

La última sección está dedicada a resumir los resultados de nuestro análisis, destacando algunos elementos *didácticos* surgidos de la muestra de propuestas. Estos elementos nos sirven para fundamentar las aplicaciones de la segunda parte de la tesis.

---

<sup>145</sup> Este es el objetivo de un modelo de *autorregulación* de la práctica del profesorado de ciencias (García y Angulo, 2001).

## 6.1 Lineamientos para el análisis de las propuestas

Configuración de la muestra de propuestas prácticas de enseñanza de la epistemología

A fin de conseguir un número representativo de textos para el análisis clasificatorio, hemos tomado la expresión de *propuesta de enseñanza de la epistemología* en un sentido muy amplio. Llamamos así a cualquier intento explícito de enseñar a alguien algún tópico epistemológico, *siempre que se dé dentro de un proceso más abarcador de educación científica*. Así entendidas, las propuestas que recolectamos cubren el vasto espectro que va desde una actividad didáctica breve hasta un curso completo, formado por varias clases.

A esta amplitud en la selección de la muestra se debe sumar el hecho de que hemos recogido las propuestas extrayéndolas de fuentes secundarias, que generalmente están formuladas siguiendo los cánones de intercambio académico de la comunidad de la didáctica de las ciencias. Estas dos circunstancias conducen a que las propuestas de enseñanza de la epistemología sobre las que trabajamos exhiban *deficiencias* en la información curricular que proveen. En efecto, es inusual encontrar que en los elementos de la muestra se expliciten cosas tales como los objetivos específicos, la forma de evaluación o la bibliografía. Esto constituye un escollo para nuestro análisis.

Para cada propuesta recogida, la atribución de valores a las diferentes categorías es un proceso más o menos unívoco, cuya validación por *triangulación* entre investigadores (Fischer, comunicación privada) no presenta demasiados problemas teóricos o metodológicos. En el caso de las dimensiones informativas, se trata de una tarea sencilla que ofrece poca discusión, dada la forma en que estas dimensiones han sido definidas en el capítulo 4.

Las dimensiones curriculares, por su parte, han sido cubiertas utilizando, siempre que fuera posible, las afirmaciones *explícitas* de los autores. Consignamos aquí algunos ejemplos para hacer más transparente a los lectores nuestra metodología de análisis:

### 1. Poblaciones.

#### 1.1. Estudiantes de ciencias:

Participaron [de este trabajo] en total 104 alumnos universitarios y 280 secundarios.  
(Martínez et al., 2001: 43)

#### 1.2. Profesores de ciencias:

This chapter outlines a teaching programme we have developed with both trainee and experienced [science] teachers. (Nott y Wellington, 1998a: 293)

## 2. Contextos.

### 2.1. Curso de metaciencias:

La *Introducción* ha sido el texto básico en la Universidad Autónoma de Barcelona para la asignatura troncal de “Filosofía de la ciencia” en la licenciatura de filosofía. La asignatura tiene una parte teórica y otra práctica (...). El libro que presentamos ahora es fruto de la preparación y organización de las clases prácticas (...). (Estany y Casacuberta, 2000: 11-12; cursivas en el original)

## 3. Finalidades.

### 3.1. Finalidad intrínseca:

La finalidad del debate es (...) identificar las diferentes valoraciones de unos mismos hechos por parte de los dos médicos y preguntarse sobre la relación entre estas valoraciones y los argumentos que ambos utilizan. (Izquierdo, 2000a: 52)

### 3.2. Finalidad cultural:

[G]iven that most science education reforms (...) require that something of the ‘big picture’ of science be conveyed to students (...), it is suggested that these educational goals can be advanced by teaching about the fate of Huygens’ proposal. (Matthews, 2001: 1)

### 3.3. Finalidad instrumental:

[A] complete approach of History, Philosophy and Methodology of Science in relation to the presentation of basic elements of the content of the scientific theories led not only to the improvement of the teachers’ views in relation to the nature of science, but also to a relatively sufficient approach of the *content*. (Dimitriadis et al., 2001: 358; las cursivas son nuestras)

#### 4. Métodos.

##### 4.1. Aproximación histórica:

The question [is] the possibility of understanding of basic aspects on the nature of science, through a historical approach of the theories of Physics (...). (Dimitriadis et al., 2001: 358)

##### 4.2. Uso de materiales no convencionales:

[E]l lenguaje del cómic puede resultar un instrumento idóneo para ayudar a construir una imagen de la ciencia susceptible de generar actitudes más positivas en los estudiantes contribuyendo a una mejor alfabetización científica y tecnológica de futuros ciudadanos y ciudadanas. (Gallego et al., 2001: 97)

De estas cuatro dimensiones curriculares, la de *finalidad* es la que resulta más problemática de identificar. A menudo no está claro, en los textos analizados, si lo que se persigue es enseñar los contenidos epistemológicos por su valor cultural (por ejemplo, para ayudar al rigor del pensamiento o conocer grandes problemas filosóficos), o por su rol específico como reflexión sobre la ciencia. En líneas generales, hemos decidido atribuir una finalidad intrínseca a aquellas propuestas cuyo objetivo explícito es el conocimiento de algún modelo epistemológico en particular, y una finalidad cultural a aquellas propuestas que se presentan como una reflexión crítica sobre la naturaleza de la ciencia.

La finalidad instrumental, a diferencia de las otras dos, suele ser más fácilmente identificable, pues las propuestas que la detentan presentan objetivos relacionados más con los *contenidos* específicos de ciencias que con los conceptos epistemológicos utilizados estratégicamente para alcanzar dichos contenidos.

Criterios para identificar las <i>épocas</i> y <i>campos</i> de las propuestas de enseñanza de la epistemología	La identificación de las épocas y los campos <i>principales</i> <sup>146</sup> que trata cada propuesta es un proceso más difícil, y merece ciertas puntualizaciones. Para poder llevar a cabo esta identificación, es necesario <i>aislar</i> en las propuestas los conceptos y modelos epistemológicos que se desean enseñar explícitamente, que muchas veces no aparecen verbalizados ni enumerados en forma sistemática.
---	--

En algunos casos, los autores enuncian las ideas epistemológicas estructurantes que son el objeto de enseñanza de sus propuestas. Considérense los siguientes ejemplos, en los que hemos puesto en cursiva los tópicos epistemológicos que nos señalan las épocas y campos:

The fate of Huygens' 1673 proposal for a universal standard of length well illustrates a number of central *methodological features* of science, as well as the *interrelations* of science, technology, culture and politics. (Matthews, 2001: 9)

The basic aims of the course were defined as follows: a) To provide the teachers with necessary knowledge of the *historical evolution* of the scientific models and theories in Physics (...). c) To approach the view that scientific knowledge includes *empirical basis, subjectivity and creativity*. d) To approach the *sociocultural character* of science (...). (Dimitriadis et al., 2001: 357)

Intentaremos en lo que sigue presentar la *producción de conocimiento científico* como una *actividad esencialmente humana* (con todas las implicaciones que eso pueda tener), caracterizada por una permanente *interacción entre el pensar, el sentir y el hacer*. (Moreira y Ostermann, 1993: 4)

El propósito didáctico es relevar *las creencias y las expectativas sobre la didáctica de las ciencias*. En la elaboración de hipótesis van a intervenir *un punto de vista teórico acerca de una disciplina social* y una expectativa de necesidad profesional. (Meinardi, 2000: 1)

---

<sup>146</sup> A menudo, las propuestas de enseñanza de la epistemología entrelazan varias épocas y campos. En nuestro análisis sólo se consignan las que consideramos las componentes principales de cada propuesta.

En caso de no contar con este tipo de afirmaciones explícitas, algunos elementos que nos ayudan a determinar las épocas y campos son:

- Se recupera nuestra dimensión de *fuentes* (capítulo 4)
1. los ejemplos que se utilizan en la propuesta,
  2. la bibliografía,
  3. los “héroes” de la epistemología (Nye, 1993) que se mencionan,
  4. la terminología especializada, y
  5. la *fuentes* de la cual extraemos la propuesta.

## 6.2 Análisis composicional de cuatro propuestas paradigmáticas de enseñanza de la epistemología

Mercè Izquierdo, Michael Matthews, Patricia Gallego, y Michael Nott y Jerry Wellington son los autores de las propuestas que analizamos

En esta sección se recogen las cuatro primeras propuestas de enseñanza de la epistemología clasificadas en nuestra base de datos<sup>147</sup>, para ser analizadas composicionalmente con más detalle. Consideramos que estas propuestas pueden funcionar a modo de ejemplos paradigmáticos de la capacidad clasificatoria (analítica) y didáctica (sintética) que tiene el aparato de las épocas y los campos.

En la figura 6.1, se ubican las cuatro propuestas analizadas en la matriz de épocas y campos, para referencia de los lectores.

---

<sup>147</sup> La base de datos se consigna en el cuarto apéndice de la tesis.

		É P O C A S		
		PL – CH	RC – NFC	PM – VC
Usamos la matriz de épocas y campos para clasificar propuestas de enseñanza de la epistemología	C – R			
	A – L			
	M – M	02	04	
	P – V		02 / 03	01
	O – J		04	01
	S – R			04

**Figura 6.1** Ubicación, en la matriz de épocas y campos, de las cuatro propuestas seleccionadas para el análisis extenso.

### 6.2.1 Primer ejemplo paradigmático: una visión contemporánea de la evolución científica

época: La primera propuesta que hemos seleccionado (identificación  
 postmodernismo 01), ha sido diseñada para tratar, en el ámbito de la formación de  
 y visiones los didactas de las ciencias<sup>148</sup>, el tópico epistemológico de la  
 contemporáneas influencia del contexto sociocultural sobre la ciencia de cada  
 campos: época. La actividad propone un modelo contemporáneo,  
 contextos y valores, inspirado en autores tales como Javier Echeverría, Ian Hacking,  
 evolución y juicio Andrew Pickering y Bruno Latour, para los campos de contextos  
 y valores, y evolución y juicio. Este modelo estaría  
 caracterizado por las siguientes afirmaciones (Izquierdo, 2000a:  
 42):

1. La relación entre la teoría y la experimentación no es fácil de caracterizar.
2. La epistemología está interesada en la *práctica* de los científicos en los laboratorios, en la toma de decisiones científicas, en la función de las instituciones en la ciencia, y en las relaciones entre ciencia y tecnología.
3. El *cambio* científico es complejo: incluye la construcción de representaciones y hechos, el uso de recursos retóricos, la difusión y la aplicación de la ciencia.

<sup>148</sup> También se ha aplicado con profesorado de ciencias de secundaria y bachillerato, en formación y en activo.



4. Para comprender la ciencia de cada época es necesario identificar el sistema de valores que la sustenta, el cual determina su funcionamiento epistémico.

Este modelo se pone en acción mediante un diálogo escrito que simula la discusión entre Teofrasto, un farmacéutico químico (o *iatroquímico*), y Ludovicus, un farmacéutico tradicional (herborista). La acción está ambientada en Francia a comienzos del siglo XVII. A fin de proporcionar a los didactas de las ciencias elementos para contextualizar históricamente la escena, la propuesta sugiere la lectura de las novelas *Los tres mosqueteros* de Alexandre Dumas y *El perfume* de Patrick Süskind.

Consignamos aquí el texto completo del diálogo, exponiendo algunas de las ideas acerca de la naturaleza de la ciencia que se tratan en él. Al final del apartado, se hacen consideraciones acerca de los elementos didácticos que queremos rescatar de esta propuesta.

tópico:  
inconmensurabilidad  
kuhniana  
(capítulo 5)

En la primera parte del diálogo, en la que se delinear los personajes, la autora opone dos cosmovisiones, o *Weltanschauungen*, sobre el arte de preparar los medicamentos: la de Ludovicus, médico católico parisino, basada en la tradición griega clásica, y la de Teofrasto, alquimista protestante de Montpellier, que pretende aplicar los principios de la naciente química a la curación de los enfermos. Las dos visiones filosóficas subyacentes son tan radicalmente diferentes que impiden muchas veces el verdadero entendimiento entre los interlocutores; esta es la idea epistemológica que se conoce como *inconmensurabilidad* (Kuhn, 1971).

Ludovicus: El farmacéutico ha de ser respetuoso con la *mixión*<sup>149</sup> natural de cada cuerpo, porque la virtud curativa del medicamento depende de ella. Al preparar los medicamentos ha de procurar respetarla.

Teofrasto: Pero, como la química se interesa por conocer mejor los mixtos mediante su solubilización y coagulación, también ayuda a preparar los

---

<sup>149</sup> En la química renacentista, *mixión* es la palabra técnica que se utiliza para hablar de la composición de los materiales en términos de sus elementos constituyentes.

medicamentos, para que sean más agradables al gusto y más saludables para el cuerpo que los que preparan los farmacéuticos vulgares... aunque para ello sea necesario modificar la mixión de los cuerpos. No veo que haya ninguna razón de peso en contra.

Ludovicus: Creo que hasta el momento presente hemos preparado muy buenos medicamentos, ¿no crees? No necesitamos para nada la química, como tú la llamas. Recuerda que hace poco se la llamaba alquimia, y que era algo bastante turbio y que se ha excluido de la Universidad... Y, la verdad, me parece ofensivo que nos llames “farmacéuticos vulgares”. (Izquierdo, 2000a: 52-53)

tópico: A continuación, se explora la idea de que la renovación  
racionalidad metodológica puede tener consecuencias epistémicas (Laudan,  
reticular 1978). En este sentido, el acercamiento experimentalista de  
laudaniana Teofrasto representa un auténtico *cambio de paradigma* (Kuhn,  
1962, 1971).

Teofrasto: Perdona, no seas tan susceptible. Tienes razón, preparáis bien los medicamentos... ¡pero sólo los tradicionales, los que se han preparado desde siempre! ¿No podríamos hacerlo aún mejor, si todos utilizásemos bien el arte de Paracelsus, es decir, la química?

Ludovicus: Lo dudo mucho. Paracelsus mataba con ácidos los metales, como por ejemplo el mercurio y el plomo, y pretendía curar con el producto resultante. ¿Cómo se va a curar un organismo vivo con una materia tan muerta? (Izquierdo, 2000a: 53)

tópico: La respuesta que da Teofrasto ejemplifica el uso de las *falacias*  
tecnología en la argumentación científica. Al mismo tiempo, introduce en el diálogo un elemento epistemológico importante: que en la tecnología, las consideraciones extraepistémicas (como el bienestar de los enfermos, en el caso de la medicina) interactúan con el propio conocimiento científico, imponiendo límites a su aplicación.

Teofrasto: Pero piensa en los enfermos. Vuestros medicamentos son tan desagradables que muchos enfermos se encuentran peor sólo de verlos, y no por ninguna virtud oculta o

magnética que posean, sino al imaginar su sabor y su olor... de manera que se ven obligados a vaciarse por arriba y por abajo sin ninguna otra ceremonia...

Ludovicus: Bien, sabes de sobra que no hay para tanto. También algunos de vuestros medicamentos son bastante desagradables... Y reconoce que son venenosos, porque se extraen de cosas minerales y metálicas. En cambio, los medicamentos preparados a la manera antigua, aunque huelen mal, son sanos y sin peligro. (Izquierdo, 2000a: 53)

tópico: Seguidamente, se exponen los modelos de *racionalidad* con los  
racionalidad que ambos científicos trabajan, que determinan la metodología  
(capítulo 5) admisible para uno y otro. Ludovicus esgrime los criterios de  
autoridad y tradición, basando su ciencia en los escritos griegos  
clásicos. Teofrasto, por su parte, es partidario de la *magia natural*  
alquímica, que propugna un acercamiento fuertemente  
experimental al conocimiento del mundo.

Se vuelve también sobre la cuestión de la tradición y la innovación, y se hace referencia a la relación entre la ciencia y las creencias generales (entre ellas, las religiosas).

Teofrasto: Pero, ¿por qué los médicos modernos no han de poder utilizar materiales bien cocidos, si así se les elimina la malignidad? ¿Sólo porque los antiguos no lo hacían?

Ludovicus: Pues ésta me parece una buena razón. Estamos utilizando una experiencia de muchos siglos, desde los clásicos, los cuales, como sabes, llegaron a la cumbre de las ciencias.

Teofrasto: Pero esta experiencia que dices la sacáis de los libros y nosotros utilizamos una de otro tipo, que nos llega directamente del laboratorio y de las analogías que, con la ayuda de Dios, descubrimos entre las cosas de la naturaleza. (Izquierdo, 2000a: 53)

Otro tópico fundamental que se introduce ahora es el de las *analogías* que guían la investigación científica en ambos paradigmas. En el caso de Ludovicus, el cuerpo humano es analogado a la naturaleza; Teofrasto análoga el cuerpo humano a un sistema químico. Estas analogías determinan la metodología seguida y los modelos creados por los científicos rivales.

Ludovicus: ¡Qué pretensiones, creer que podéis encontrar más verdad en el laboratorio y en libros sospechosos como los de Miriam la judía que la que hay en los libros de los

sabios! Continúo sin ver qué tiene que ver la “química”, como llamas a estas prácticas alquímicas, con la medicina.

Teofrasto: Tanto los seres vivos como la química tienen la misma dinámica...

Ludovicus: ¡Son la naturaleza y el cuerpo humano, los que tienen una misma dinámica! Por esto los medicamentos han de ser naturales y sin desvirtuar, y así los preparamos.

Teofrasto: ¡Qué Dios nos libre de darlos crudos como hacéis vosotros! Al contrario, mediante las operaciones de la química separamos lo saludable del veneno, el túetano de la corteza... (Izquierdo, 2000a: 53)

A continuación, se esboza una idea epistemológica característica de la tercera época: que los logros técnicos pueden ser anteriores a los modelos científicos que los explican (Samaja, 1994). Se vuelve también sobre los elementos extraepistémicos en la medicina.

Ludovicus: ¿Qué sabéis de lo que le estáis haciendo al metal al cocerlo? Le separáis lo que es nocivo o, en cambio, lo envenenáis aún más? Reconoce que sabéis bien pocas cosas de los cambios de mixión que provocáis...

Teofrasto: Bien, sabemos más de lo que crees, y continuamos estudiando. Además, los medicamentos han de ser recetados por un médico experto y clarividente, que calcule la cantidad justa... (Izquierdo, 2000a: 53)

Se remite a los tópicos de *intervención mediada* y *carga teórica* (capítulo 5 y segunda aplicación)

Ludovicus introduce el papel de las consideraciones *éticas* en el contexto de aplicación. Otra cuestión que se examina es la de las interpretaciones antagónicas que los dos científicos hacen de los mismos procedimientos de intervención (decocción e infusión). Esta sección del diálogo permite entonces desarrollar la idea de la *carga teórica* de la experimentación.

Ludovicus: Claro, como que hacéis experimentos con los enfermos... Lo único que conseguís es que vuestros enfermos estén más contentos, porque los medicamentos que les dais son más fáciles de tragar... pero vuestros medicamentos son inútiles y venenosos, porque se han extraído de cuerpos mixtos destruidos y corrompidos, privados de su humedad radical. Y esto lo sabéis tan bien como nosotros.

Teofrasto: Pero escúchame bien: si los minerales son venenosos es debido a su forma, y ésta se pierde al destruirlo. Y si alguien prefiere decir que la malignidad es debida a

alguno de sus principios (cosa más que creíble), aún mejor, porque así podremos separarlo de los otros. Además, vosotros también hacéis infusiones y decocciones mediante el fuego. (Izquierdo, 2000a: 53)

Se remite a los modelos de *cambio científico* (capítulo 5) El diálogo se cierra mostrando que, aunque las posiciones de ambos científicos no están tan alejadas, ellos no quieren dialogar. Esto puede permitir el tratamiento de las ideas de la nueva filosofía de la ciencia acerca de cómo se produce el cambio teórico en la comunidad científica (por revolución o por evolución).

Ludovicus: En esto imitamos a la naturaleza, la cual transforma los alimentos antes de repartirlos por el cuerpo...

Teofrasto: ¿Ves como no estamos tan alejados unos de otros? Lo que os pasa es que tenéis miedo y sólo os falta aceptar que las operaciones de la química son útiles para que podáis pasar de las tinieblas de la ignorancia a la luz del saber.

Ludovicus: No quiero escucharte ni un momento más. ¡Pasar de la ignorancia al saber! ¿Qué os pensáis que sois? Sólo sois unos pedantes y vuestra nueva ciencia aún ha de demostrar lo que puede conseguir. De momento, no sois más que un peligro público. (Izquierdo, 2000a: 53)

#### 6.2.1.1 Aportaciones del diálogo a nuestro marco

Se recupera nuestra dimensión de *métodos* (capítulo 4) El primero de los elementos que queremos rescatar de esta propuesta se inscribe en nuestra dimensión de *métodos*. La metodología didáctica de esta propuesta se genera como una extensión de la técnica del *estudio de casos históricos*, muy difundida entre las propuestas de enseñanza de la epistemología (Bybee, 1990; Monk y Osborne, 1997; Irwin, 2000). En este ejemplo, el caso es ficcional y utiliza los recursos de la *narrativa*, que pueden ser muy poderosos para la educación científica (Martins, 2001).

Referimos a nuestra primera aplicación El segundo elemento, ya en el nivel de los contenidos epistemológicos enseñados, es la atención a la *analogía* como mecanismo cognitivo y retórico. Esta temática aparece desarrollada en la tercera época de la epistemología, en particular, en la concepción basada en modelos (capítulo 5).

La primera aplicación de esta tesis contiene una actividad diseñada para enseñar este tópico a los profesores de ciencias, por medio de la utilización de un cómic.

### 6.2.2 Segundo ejemplo paradigmático: una visión heredada del método científico<sup>150</sup>

época: positivismo lógico y concepción heredada La segunda propuesta que hemos seleccionado (identificación 02), resulta apropiada para explorar algunos aspectos *estructurales* de la metodología científica. La propuesta revisa el papel que tienen, en la validación de las leyes científicas, las variables excluidas implícita o explícitamente durante el proceso de modelización. Para ello, se utiliza un modelo analítico, tomado de las versiones más elaboradas (*postpopperianas*) de la concepción heredada.

campo: intervención y método

Inicialmente, se desarrolla un episodio de la historia de la ciencia del siglo XVII; se trata del viaje de Jean Richer a Sudamérica (Matthews, 2000). Se había dado a Richer la tarea de comprobar la *isocronía* del péndulo (esto es, la invariancia del período) con la latitud, y el resultado fue precisamente el contrario. El péndulo de Huygens debía ser acortado a medida que se progresaba hacia el ecuador.

A continuación se presenta, a fin de formalizar este episodio histórico, el *método hipotético-deductivo*, expuesto de la mano de autores clásicos como Christiaan Huygens, Isaac Newton y Jean Voltaire. El método se desarrolla en sus versiones

---

<sup>150</sup> Como puede verse en el apéndice 4 y en la figura 6.1, la propuesta de Matthews explora dos campos y dos épocas. Para el análisis, hemos seleccionado sólo el tópico de metodología científica.

verificacionista y falsacionista. Para ello, se introducen la *falacia de afirmación del consecuente* y el *modus tollens*.

<i>Verificación</i> <i>por medio de la</i> falacia de afirmación del consecuente	<i>Falsación</i> <i>por medio del</i> modus tollens
Si p, entonces q. Es el caso que q. <hr/>	Si p, entonces q. No es el caso que q. <hr/>
Luego p.	Luego no-p.

En estas inferencias formales, *p* representaría el sistema completo de la mecánica newtoniana, y *q*, la isocronía del péndulo como consecuencia deductiva de aquel. En un esquema abductivo<sup>151</sup> (columna 1), el hallazgo de la isocronía daría apoyo a (es decir, “verificaría”) la teoría. En un esquema deductivo (columna 2), la negación de la isocronía “falsaría” la teoría.

Pero, dados los resultados de Richer, ninguno de estos dos esquemas se ajusta al episodio científico histórico. De hecho, la no-isocronía del péndulo (*no-q*) debería haber conducido a *rechazar* todo el sistema de la mecánica newtoniana (*no-p*), cosa que efectivamente no sucedió. Para salir de esta situación contradictoria con la historia de la ciencia, se introduce la llamada *cláusula ceteris paribus*<sup>152</sup>.

Si p y condiciones c, entonces q.

No es el caso que q.

---

Luego, o no-p, o no-c.

Es probable que no-c.

---

<sup>151</sup> Especie de esquema deductivo “inverso”, típico de la modelización. Véase la primera aplicación (capítulo 9).

<sup>152</sup> Es decir, “con el resto de las variables iguales”. La cláusula consiste en una proposición que forma parte del sistema de premisas, en el esquema deductivo de una falsación sofisticada. Esta proposición afirma que los resultados adversos pueden venir de haber supuesto *incorrectamente* que no había más factores influenciando la deducción de consecuencias a partir de la teoría.

En este caso, la proposición *c*, que es la cláusula *ceteris paribus*, representa la suposición implícita de la uniformidad del campo gravitatorio, que no es válida por dos motivos: la forma oblonga de la Tierra y la presencia de una fuerza inercial debida a la rotación del planeta.

Con este aparato, se genera una reconstrucción racional del método científico que es plausible a la luz de episodios históricos conocidos y que permite pensar en la complejidad de los mecanismos inferenciales.

Cabe remarcar que la visión de ciencia que Michael Matthews propone en esta actividad, y en muchos otros de sus escritos, es bastante tradicional. Se trata de una visión fuertemente científicista, que sintoniza con la llamada educación científica *liberal* (Matthews, 2000). Independientemente de que cuestionemos esta visión de ciencia tan triunfalista, consideramos que la actividad diseñada es adecuada para tratar un tópico epistemológico que ha mostrado ser complejo (Díaz y Heler, 1988; Guibourg et al., 1998).

#### 6.2.2.1 Aportaciones del péndulo a nuestro marco

Recuperamos el procedimiento de adaptar resultados de la investigación didáctica de las ciencias para la formación del profesorado de ciencias (capítulo 3)	El primer elemento que nos parece importante rescatar es la coherencia teórico-práctica del autor, que diseña su actividad a partir de un estudio histórico exhaustivo del rol que jugó el péndulo en el asentamiento de la visión mecanicista del mundo (Solaz y Sanjosé, 1992; Matthews, 2000). Esta propuesta sería un ejemplo de nuestra recomendación de adaptar, para la formación del profesorado de ciencias, resultados de la investigación didáctica de las ciencias enfocada sobre la epistemología.
---	---

El segundo elemento de interés consiste en que el estudio de la historia de la ciencia sirve para operacionalizar los tópicos epistemológicos en forma significativa y motivadora. La enseñanza del proceso de falsación teórica ha sido a menudo encarada con el aparataje de la lógica formal, ejemplificado sólo anecdóticamente. El



procedimiento de Matthews es el inverso: primero dibuja una situación histórica plausible, y luego la formaliza con el uso de los razonamientos deductivos.

Se recupera nuestra idea de enseñar la <i>epistemología</i> ambientada en la historia de la ciencia (capítulo 3)	Este es un nuevo ejemplo de nuestra idea de <i>ambientación</i> histórica de los contenidos epistemológicos. Nótese que tanto esta propuesta como la anterior <i>no</i> buscan enseñar historia de la ciencia per se, sino utilizarla para enseñar epistemología. Tanto los objetivos como la evaluación que estas dos propuestas plantean están establecidas sobre los tópicos de la epistemología.
--	--

El tercer elemento que queremos rescatar es la atención que presta Matthews a la *concepción heredada* en general, y al tópico del razonamiento científico en particular. Esta atención sintoniza con nuestra recomendación de recuperar la primera época de la epistemología, y fundamenta una de las actividades didácticas de nuestra primera aplicación, que pretende comparar los mecanismos de inferencia en la investigación detectivesca y científica (capítulo 9).

### 6.2.3 Tercer ejemplo paradigmático: una visión de la nueva filosofía de la ciencia acerca de los valores científicos

época: racionalismo crítico y nueva filosofía de la ciencia	La tercera propuesta que hemos seleccionado (identificación 03) toma como materia prima una importante recopilación de cómics, tanto recreativos como educativos, sobre la ciencia. La propuesta trata algunos tópicos del campo estructurante de
campo: contextos y valores	contextos y valores, entre los que destaca la imagen socialmente arraigada de la ciencia. Para ello se propone un modelo <i>externalista</i> tomado de la nueva filosofía de la ciencia.

La propuesta, en sus dos versiones, dirigidas respectivamente a estudiantes y profesores de ciencias, parte del autoanálisis de las ideas sobre la naturaleza de la ciencia. Tal análisis se lleva a cabo viendo el grado de sintonía entre esas ideas y las que subyacen a los cómics.

Para ello, la autora propone utilizar las “imágenes deformadas” acerca de la naturaleza de la ciencia que hemos enumerado en el capítulo 3 (figura 3.2, columna 2). Se establecen criterios operacionales para identificar esas imágenes en los cómics.

El segundo momento de la propuesta consiste en cuestionar las propias ideas acerca de la naturaleza de la ciencia, a través del acceso a materiales de divulgación epistemológica que presenten modelos de ciencia más adecuados.

En un tercer momento, se realiza una síntesis metacognitiva demandando a los estudiantes y profesores de ciencias la producción de un cómic de ciencia.

#### 6.2.3.1 Aportaciones de los cómics a nuestro marco

Se retoma nuestra dimensión de <i>métodos</i> (capítulo 4)	El primer elemento que queremos rescatar es el uso de materiales no convencionales para enseñar la epistemología. La lectura de cómics introduce un elemento motivador en la clase, y al mismo tiempo abre el juego para una serie de reflexiones acerca de la imagen de ciencia sostenida por la sociedad.
--	---

El segundo elemento es el cuestionamiento de las imágenes erradas acerca de la ciencia en sus diferentes aspectos; un ejemplo importante es el que se refiere al papel de las mujeres en la ciencia (Álvarez-Lires, 1999). Este cuestionamiento exige estrategias cognitivo-lingüísticas muy elaboradas. En el caso de la formación inicial del profesorado de ciencias, la actividad introduce de lleno a los futuros profesores de ciencias en la cuestión metafilosófica.

Recuperamos el uso de los “héroes” científicos	El tercer elemento que encontramos valioso es el uso de los “héroes” científicos (Nye, 1993). Hemos explorado esta metodología didáctica en nuestra primera aplicación, diseñando una actividad alrededor del trabajo de Marie Curie, que es una figura de innegable atractivo para la educación científica.
--	--

#### 6.2.4 Cuarto ejemplo paradigmático: una visión postmoderna acerca de la evolución de las concepciones epistemológicas<sup>153</sup>

época: postmodernism o y visiones contemporáneas	La cuarta propuesta que hemos seleccionado (identificación 04) explora, desde un tercer orden de conceptualización, diversos modelos teóricos que se han dado en la historia de la epistemología. Presenta estos modelos teóricos “apareados” en ejes bipolares. La finalidad es utilizar este aparato recursivo para comparar el positivismo lógico y la nueva filosofía de la ciencia.
campo: normatividad	

En la sección 3.5 presentamos los cinco ejes epistemológicos que Nott y Wellington proponen para la formación del profesorado de ciencias. Estos ejes inspiran en buena medida nuestra propuesta de los campos teóricos estructurantes; especialmente, en el hecho de que tienen como objetivo primordial introducir a los estudiantes y profesores de ciencias en el panorama *completo* de la epistemología como disciplina.

##### 6.2.4.1 Aportaciones del protocolo a nuestro marco

Se remite al análisis de las propias ideas acerca de la naturaleza de la ciencia (apéndice 1)	Ya hemos adelantado que, a nuestro juicio, la principal aportación de esta propuesta es la idea de promover en el profesorado de ciencias la autorrevisión de las visiones sobre la naturaleza de la ciencia; en este sentido, hemos propuesto usar el protocolo de Gallego y nuestro propio protocolo NOS (apéndice 1) con los mismos fines. La idea de recursión de la epistemología es utilizada para la elicitación de las concepciones epistemológicas, funcionando así como primer paso en una secuencia didáctica generativa.
--	--

---

<sup>153</sup> Como se ve en la figura 6.1 y en el apéndice 4, la propuesta de Nott y Wellington tiene tres momentos, cada uno con sus épocas y campos. En este apartado se analiza sólo el primero de esos momentos.

Se retoma la idea del desarrollo “pendular” de la epistemología a enseñar (capítulo 5)

El segundo elemento que queremos rescatar es la manera en que está formulado este protocolo NOS. La formulación atiende a cinco aspectos distintos de la epistemología, y se realiza en forma “pendular”. Esto permite, por una parte, que los profesores de ciencias construyan un panorama general muy completo de la epistemología. Y, por otra parte, prepara el terreno para la introducción de la tercera época de la epistemología como *vía media* en el debate.

### 6.3 Algunas consideraciones para la didáctica de la epistemología

En esta sección, usamos nuestras cuatro *dimensiones curriculares* (capítulo 4) para echar una mirada general a la muestra de propuestas.

Se remite al análisis de la línea NOS (capítulo 3)

En relación con la *población* de destino, las propuestas disponibles están mayormente repartidas entre el profesorado de ciencias en activo y los estudiantes de ciencias del nivel postobligatorio. Esto sugiere quizás una voluntad de la didáctica de las ciencias de *remediar* el conocido diagnóstico negativo acerca de los modelos epistemológicos de los profesores y los estudiantes de ciencias. En cambio, la necesidad de una enseñanza sistemática de la epistemología desde las primeras etapas de la educación científica, y su reflejo en la preparación del futuro profesorado de ciencias, no estarían, a juzgar por la muestra, suficientemente arraigadas todavía en la comunidad de la didáctica de las ciencias.

En lo que hace al *contexto* curricular de las propuestas, hay una clara correlación con la dimensión anterior, forzada por la estructura actual de la educación científica formal. En el caso de la población de estudiantes de ciencias, la enseñanza de la epistemología se circunscribe casi exclusivamente al contexto de cursos de ciencias. En el caso de la población de profesores de ciencias, la enseñanza de la epistemología aparece generalmente vinculada a la (breve) formación didáctica específica que ellos reciben.

Como excepción, en la compilación hecha por William McComas (1998b), se recogen varios cursos específicos de metaciencias dirigidos al profesorado de ciencias.

Por otra parte, la mayor parte de las propuestas que hemos recolectado tienen una *finalidad* mixta que combina el valor intrínseco y el cultural. Esto es, se pretende al mismo tiempo:

1. que los estudiantes<sup>154</sup> comprendan y aprecien el rol de la epistemología como reflexión metateórica, y
2. que los estudiantes conozcan modelos epistemológicos famosos.

La dimensión de *método* también muestra una variedad importante, aunque las actividades de lápiz y papel siguen siendo el recurso mayoritariamente utilizado. En este tema, destacamos el uso de la narrativa como recurso para ambientar históricamente los tópicos epistemológicos (propuestas 01, 02 y 03).

Recuperamos el acercamiento <i>pragmático</i> a la selección de la epistemología a enseñar (capítulo 3)	Una cuestión sugerente a señalar, que sintoniza con nuestro marco de ideas, es la <i>variedad</i> de épocas y campos implementados en las propuestas <sup>155</sup> . Esto nos habla de una aproximación pragmática a la enseñanza de la epistemología en el contexto de la educación científica. Se seleccionan libremente modelos y escuelas epistemológicas en función de los objetivos didácticos generales de cada propuesta.
---	--

Por último, queremos recoger también la coexistencia, en las propuestas, de textos originales de la epistemología y materiales creados ad hoc. Esta coexistencia puede ir implementándose paulatinamente a medida que se avanza en la educación científica (McComas, 1998b). De esta forma se lograría una formación epistemológica más rigurosa y mejor dirigida a satisfacer la finalidad cultural de esta disciplina.

---

<sup>154</sup> Nos estamos refiriendo genéricamente a los destinatarios de las propuestas de enseñanza de la epistemología, sean ellos estudiantes, profesores o didactas de las ciencias.

<sup>155</sup> Todas las épocas y campos aparecen tratados en nuestra muestra. En total, se implementan en ella más de un centenar de tópicos e ideas epistemológicas.

El objeto de este capítulo es recoger *índices de validez* de nuestro trabajo

Este capítulo presenta una serie de elementos teóricos y empíricos que pueden otorgar validez a nuestros resultados de investigación e innovación en el área de la didáctica de la epistemología, expuestos en las dos partes de la tesis. Los elementos teóricos consisten en una selección de ideas de la epistemología y la didáctica de las ciencias que están en sintonía con nuestro propio marco conceptual. Estos elementos ponen de manifiesto, simultáneamente, la originalidad de nuestra propuesta y su compatibilidad con proposiciones ya establecidas en la didáctica de las ciencias.

Los elementos empíricos que recogemos son descripciones de los contextos de aplicación de nuestras ideas en los últimos cuatro años. Se incluyen también consideraciones acerca de la “evolución” que fueron sufriendo nuestras propuestas, y las posibles líneas a seguir en un futuro cercano.

Se resume el capítulo

En la primera sección, se revisa lo que llamamos nuestra *propuesta curricular*, esto es, aquellas instancias de formación del profesorado de ciencias que proporcionan elementos para sostener la validez de nuestras ideas.

La segunda sección se enfoca en la *propuesta metacurricular*, esto es, la actividad académica que llevó a generar y mejorar nuestras ideas.

La tercera sección está dedicada a dar indicios de la validez de nuestro constructo de las épocas por medio de sus consecuencias en ulteriores investigaciones e innovaciones didácticas.

En la cuarta sección se hace lo propio con nuestro constructo de los campos teóricos estructurantes.

La quinta sección apunta a algunas derivaciones puestas en marcha en colaboración con varios colegas. La factibilidad de estas derivaciones avala en parte la robustez de nuestras ideas.

### **7.1 Propuesta curricular: integración de la epistemología en la formación inicial del profesorado de ciencias**

Nuestra *propuesta curricular* utiliza actividades didácticas, ideas clave, y épocas y campos

Con el nombre de *propuesta curricular*, nos referimos a la selección, secuenciación, sistematización y operativización que hemos hecho de algunos modelos epistemológicos recientes y actuales, en el contexto de varias instancias de formación inicial y continuada del profesorado de ciencias en las que hemos participado en los últimos dos años. Estas instancias pueden ser consideradas como *intervenciones didácticas fundamentadas teóricamente*, según se expuso en la formulación de nuestra tesis propiamente dicha (capítulo 1).

Las instancias de formación que ponen a prueba nuestras ideas, se apoyan en los siguientes principios:

1. La construcción de las que llamamos *ideas epistemológicas clave*, que son formas didácticamente operativas de los campos teóricos estructurantes (Adúriz-Bravo, 2000a).
2. La construcción de la *matriz de diseño por épocas y campos*, que nos permite generar las ideas clave y los ejemplos de aplicación de estas ideas (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001f).
3. La adaptación de algunos de los ejemplos de enseñanza de la epistemología que hemos compilado en el capítulo anterior y en el cuarto apéndice (Adúriz-Bravo, 1999d, 2000a).

Nuestras ideas se han utilizado en nueve experiencias de formación

Reseñamos ahora brevemente las nueve instancias de formación inicial y continuada del profesorado de ciencias en las que se puso en acción nuestra propuesta curricular, indicando para cada una de ellas el lugar en donde se llevó a cabo y los principales elementos introducidos:

1. *Bellaterra 1*. Es el primer evento de formación de aspirantes a profesorado de ciencias en el que pusimos en acción las ideas teóricas y prácticas que se exponen en esta tesis. Trabajamos con estudiantes del curso 1999-2000 del Curs de Qualificació Pedagògica (CQP) de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Recuperamos la idea de *funcionalidad* de la epistemología a enseñar (capítulo 3)

En esta instancia introdujimos la noción de las *ideas epistemológicas clave*, como recurso para conseguir exponer tópicos de la epistemología contemporánea atendiendo a dos restricciones: la escasez de tiempo disponible, y la necesidad de *funcionalidad* de la intervención (Izquierdo, 1996a, 1998a, 1998c; McComas, 1998b), en términos de que esta se pudiera traducir en un aporte para la futura práctica profesional de los estudiantes del CQP.

Las ideas clave introducidas, en su primera versión, fueron las siguientes:

- 1 El lenguaje científico es un instrumento vivo y cambiante. Interesa estudiar la pragmática de este lenguaje, es decir, la forma en que los científicos lo usan.
- 2 La teoría y la experimentación son inseparables. La teoría sin hechos a explicar está vacía.
- 3 La ciencia de la escuela es distinta de la de los científicos, tiene sus propios valores y sus propios objetivos.
- 4 *La ciencia forma parte del contexto social y cultural, está influida por los valores generales de la sociedad en cada época.*
- 5 La ciencia y la tecnología están profundamente relacionadas y se influyen mutuamente. (Adúriz-Bravo, 1999d: 1)

- 1 *Bellaterra 2*. Algunas semanas después, utilizamos el mismo material didáctico, levemente mejorado, con estudiantes del Programa de Doctorat en Didàctica de les



Ciències i les Matemàtiques de la Universitat Autònoma de Barcelona. Trabajamos en el contexto de la asignatura *Bases epistemològiques de la didàctica de les ciències*, a cargo de Mercè Izquierdo.

Recuperamos el acercamiento “pendular” a la epistemología (capítulo 5, apéndice 2)

La novedad de esta segunda intervención es el planteamiento “pendular” del tópico de explicación científica, expuesto en el segundo apéndice. Este tratamiento nos permitió introducir más significativamente las tres épocas de la epistemología.

2 *Bellaterra 3*. A fines de 1999, exploramos por primera vez la posibilidad de utilizar los resultados de nuestro trabajo de investigación epistemológica de la didáctica de las ciencias en la formación del profesorado de ciencias. Trabajamos en el contexto de la asignatura *Conceptes bàsics de didàctica de les ciències*, a cargo de Neus Sanmartí.

Referimos a nuestra segunda aplicación

Propusimos a los profesores de ciencias en activo un análisis estructural de la didáctica de las ciencias como disciplina, enfocado en tres aspectos: el concepto de evaluación, la naturaleza del constructivismo, y los modelos de investigación anglosajón y europeo continental. Las ideas para el análisis fueron elaboradas a partir de nuestra tesis de maestría. Esta actividad representó la génesis de la segunda aplicación de esta tesis.

3 *Bellaterra 4*. A fines de 1999 e inicios de 2000, se trabajó en el Seminario Permanente de Estudiantes de Doctorado en Didáctica de las Ciencias y las Matemáticas, con sede en la Universitat Autònoma de Barcelona. Se ofreció un curso de epistemología para los estudiantes del doctorado, de diez horas de duración, distribuidas en cuatro sesiones. Tres estudiantes del programa participaron en el dictado del curso, para lo cual fueron previamente “capacitadas” por nosotros. La intervención queda plasmada en dos publicaciones (Adúriz-Bravo, Badillo et al., en prensa; Adúriz-Bravo y Badillo, en preparación).

Primera presentación de épocas y campos, dirigida a didactas de las ciencias en formación

En el primero de estos dos trabajos, escrito a inicios de 2000, se presentan sendas versiones primigenias de las épocas y los campos estructurantes, que pueden resultar de interés para caracterizar la “evolución” que han sufrido nuestras ideas. Las épocas que consignamos entonces son (Adúriz-Bravo, Badillo et al., en prensa: 1):

1. el *positivismo lógico*,
2. la *nueva filosofía de la ciencia*, y
3. las *corrientes actuales*.

Fijamos en el *positivismo lógico* el origen de la epistemología a enseñar (capítulo 3)

Estas épocas se adaptaron de la propuesta primigenia que hicimos en nuestra tesis de maestría (Adúriz-Bravo, 1999b: 69-71): *epistemología tradicional*, *epistemología postkuhniiana* y *corrientes actuales*. En la transformación de una periodización en otra, desplazamos el inicio temporal al Círculo de Viena, eliminando así la referencia a las escuelas epistemológicas anteriores (clásicas).

Enumeramos también a continuación los campos que consignamos en ese trabajo (Adúriz-Bravo, Badillo et al., en prensa: 1-2), con las definiciones que dábamos de ellos:

1. *correspondencia*: la forma en que el conocimiento científico representa la realidad,
2. *representación*: el lenguaje en el que se expresa el conocimiento científico,
3. *intervención*: el método utilizado por la ciencia para construir y validar conocimiento,
4. *imbricación*: el papel que juegan los valores y el contexto general en la construcción del conocimiento científico, y
5. *evolución*: la forma en que el conocimiento científico cambia a lo largo del tiempo.

Se recupera la idea de introducir la epistemología en los cursos de didáctica de las ciencias (capítulo 4)

5. *Buenos Aires*. En diciembre de 2000, se presentan seis ideas epistemológicas clave, en el contexto de un curso de didáctica de las ciencias para futuros profesores de ciencias. Las ideas se ejemplifican con actividades didácticas propias y adaptaciones de algunas propuestas tomadas de nuestra base de datos.

6 *Neuquén*. Para esta instancia, llevada a cabo en diciembre de 2000, y dirigida a profesores de ciencias en activo, se produce un cuadernillo de 112 páginas (Adúriz-Bravo, 2000a), que presenta ideas clave, tópicos y modelos, episodios históricos, y actividades propias y adaptadas. En ese cuadernillo se proponen los siguientes objetivos:

Se explorarán algunos modelos actuales de la epistemología referidos a distintos ámbitos temáticos (realismo, lenguaje, experimentación, teorías, valores), por medio de ejemplos aplicados a la enseñanza de las ciencias en distintos niveles. Se mostrará que estos modelos tienen gran importancia para la didáctica de las ciencias. Se discutirá la forma en que el conocimiento de algunos desarrollos de la epistemología contemporánea puede contribuir a la enseñanza y aprendizaje de las ciencias en la EGB y el Polimodal. Se proveerá bibliografía especializada y se propondrán actividades en pequeños grupos y en plenario. (Adúriz-Bravo, 2000a)

Esta intervención genera un capítulo de libro (Adúriz-Bravo, en prensa-b), dirigido a la formación epistemológica inicial del profesorado de ciencias.

Se recupera la idea de enseñar la epistemología ambientada en la historia de la ciencia (capítulo 3)

7 *Bellaterra* 5. A inicios de 2001, se realizan dos actividades para enseñar los tópicos epistemológicos de explicación y descubrimiento. Las actividades están *ambientadas* en sendos episodios de la historia de la ciencia: la transición entre los modelos atómicos de Thomson y Rutherford, y el descubrimiento del radio por parte del matrimonio Curie.

Estas dos actividades exploran nuevas posibilidades en el aspecto del *método*. En ambas se utilizan filmes comerciales, textos literarios y material de divulgación científica.

Referimos a nuestra primera aplicación 8 *Valladolid*. Se dicta, en mayo de 2001, un curso de ocho horas acerca de la utilización de la epistemología y la historia de la ciencia en la educación científica, dirigido a profesores de ESO y Bachillerato en activo. En él se presentan doce ideas clave, cada una acompañada por su respectivo ejemplo. Algunas de estas ideas son las que se recogen en la primera aplicación.

Se recupera la idea de la *reflexión metafilosófica* (capítulo 3) En esta ocasión, se introduce nuestra idea de *reflexión metafilosófica*, como estrategia para ayudar a la autorregulación del profesorado de ciencias. Se propone a los profesores de ciencias en activo que revisen críticamente el uso de las metaciencias en sus propia práctica profesional. Para ello se les presentan algunas de las herramientas conceptuales desarrolladas en esta tesis.

Este acercamiento metafilosófico implicó recuperar propuestas ajenas y adaptar resultados de investigación. En el primer respecto, tomamos los protocolos de autorrevisión NOS provistos por Nott y Wellington y por Gallego (capítulo 6). En el segundo respecto, utilizamos nuestro propio protocolo NOS.

9 *Barcelona*. Esta última intervención está diseñada por encargo de la Universitat de Barcelona. Se llevan algunos de nuestros resultados de investigación en la didáctica de las ciencias a la formación inicial de científicos, en el contexto de la asignatura *Didáctica de la física*, a cargo de Marina Castells, asignatura perteneciente al último curso de la licenciatura en física.

Referimos a nuestra tercera aplicación Para esta intervención, afinamos nuestro esquema de desarrollo curricular basado en modelos irreductibles, ejemplificándolo por medio de la presentación de posibles aportaciones del modelo cognitivo de ciencia al diseño de un crédito de *ondas* para la

ESO. Estas ideas constituyen la base de nuestra tercera aplicación.

## 7.2 Propuesta metacurricular: nuestra didáctica de la epistemología

La propuesta metacurricular se valida en diez congresos y dos conferencias

La propuesta metacurricular consiste en la construcción del marco de ideas que se presenta en esta primera parte de la tesis, el cual constituye nuestro aporte propiamente dicho al cuerpo de conocimiento de la didáctica de las ciencias. Consignamos algunas de las instancias académicas en las que pusimos a prueba nuestras ideas frente a los colegas.

Nuestro marco conceptual se valida a través de la crítica de diversos didactas de las ciencias y epistemólogos (*juicio de expertos*). El grado de validez se manifiesta en la publicación de nuestras ideas en diversos soportes.

Consignamos aquí las instancias académicas de validación, indicando el lugar en donde se produjeron:

6. *Girona*. En el marco del *Simposi sobre la Formació dels Professionals de l'Educació*, celebrado por la Universitat de Girona en febrero de 2000, difundimos un esbozo de las ideas fundamentales de esta primera parte de la tesis.

En Girona se valida una primera versión de los campos

En esta primera presentación pública en el programa de un congreso de ámbito estatal, hablamos de *ideas epistemológicas estructurantes*, combinando lo que después serían los campos teóricos estructurantes y las ideas clave de la epistemología. Presentamos cuatro apartados teóricos para agrupar tales ideas (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2000a: 187):

1. la recuperación del racionalismo (moderado) y del realismo (crítico) de las ciencias,
2. el análisis del lenguaje teórico específico de las ciencias,
3. el análisis de la construcción de los hechos científicos a partir de la experimentación, y

4. la importancia de las actividades de difusión y educación en el propio desarrollo conceptual de las ciencias.

7. *Bellaterra 1*. Durante el *Primer Encuentro de Estudiantes de Doctorado en Didáctica de las Ciencias y las Matemáticas*, presentamos nuestro proyecto de tesis, enfocado en la formación epistemológica del profesorado de ciencias. Introducimos la noción de campo teórico estructurante, inspirada en algunos movimientos de desarrollo curricular en ciencias.

Se remite al primer objetivo específico de la tesis (capítulo 1)

8. *Londres 1*. Presentamos, en un seminario de estudiantes de doctorado, algunas ideas organizadoras para la didáctica de la epistemología. Este es nuestro primer intento de introducirnos en el debate acerca de qué epistemología enseñar, para el cual generamos las categorías referidas a nuestro primer objetivo de tesis (capítulo 1).

9. *Barcelona 1*. En el programa de la *XVIII Reunión Internacional del GIREP*, presentamos el análisis composicional de cuatro propuestas de enseñanza de la epistemología. Nuestro trabajo se publica en el libro de actas seleccionadas.

10. *Gilleleje*. Se presentan por primera vez las tres épocas y los seis campos completos, en su traducción al inglés. Con la asistencia de los profesores Jonathan Osborne, Shirley Simon y Hans Fischer, se afina este marco conceptual y se sientan las bases metodológicas de nuestra tesis.

Referimos a nuestra tercera aplicación

11. *Barcelona 2*. En el *Segundo Encuentro de Estudiantes de Doctorado*, se presenta el marco de ideas que hemos desarrollado durante nuestras estadias en el King's College, con el asesoramiento de Richard Duschl. Este marco es el que se adapta, en nuestra tercera aplicación, para la formación epistemológica del profesorado de ciencias.

12. *Londres 2*. En una conferencia dentro del programa oficial de los STEU Seminars, presentamos el conjunto completo de ideas de la tesis, ejemplificadas con diversas propuestas de enseñanza.

En una  
conferencia  
en  
Barcelona

se genera  
la idea  
de las  
*aplicaciones*  
como  
metodología

13. *Barcelona 3*. En una conferencia en la Universitat Autònoma de Barcelona, ponemos a discusión de los profesores y los estudiantes del Departament el esquema de las tres aplicaciones, con los siguientes elementos: marco conceptual, ejemplo paradigmático y conclusiones. En esta ocasión se termina de asentar el planteamiento formal, retórico y metodológico que decidimos dar a la memoria de tesis.

14. *Paralimni*. A raíz de nuestra participación en el simposio de la IOSTE, publicamos en inglés los lineamientos generales de nuestra didáctica de la epistemología, plasmados en ejemplos paradigmáticos. Esta publicación se reproduce en el quinto apéndice.

10 *Estocolmo*. En el marco de la reunión anual de la ATEE, se presenta nuestra matriz de épocas y campos a los miembros del grupo de formación del profesorado de ciencias, coordinado por Onno de Jong. La matriz se pone en acción para el desarrollo de la enseñanza del tópico epistemológico de explicación. El trabajo que presentamos es elegido para su publicación en las actas seleccionadas.

Referimos  
a nuestra  
primera  
aplicación

11 *Salónica*. Se publica nuestro uso de la *Muerte en el Nilo* de Agatha Christie para la enseñanza del tópico de modelización científica abductiva. Esta actividad se recoge en la primera aplicación.

12 *Barcelona 4*. Nuestra comunicación en el *VI Congreso Internacional* hace converger las dos líneas de trabajo que generan la segunda y tercera aplicación de la tesis. Se ponen en sintonía las fundamentaciones epistemológicas del desarrollo curricular y de la ciencia escolar.

### 7.3 Validación consecuencial de la periodización

Nuestra propuesta de periodización de la epistemología, a través del constructo de las épocas, ha sido utilizada tanto con fines de enseñanza como con fines de investigación. Estos usos *extensionales* del constructo, debidos a nosotros mismos y a algunos colaboradores, se inscriben en cuatro categorías:

- Las épocas pueden organizar la estructura de un curso de metaciencias para la formación epistemológica del profesorado de ciencias
1. *Las épocas como organizadores de un marco teórico.* En nuestra tesis de maestría (Adúriz-Bravo, 1999b), propusimos un primer esbozo de periodización, consignado más arriba, con el fin de agrupar sistemáticamente los diversos modelos epistemológicos que formaban parte del marco teórico de ese trabajo.
  2. *Las épocas como herramienta de diseño curricular.* En las instancias de formación del profesorado de ciencias recogidas en la primera sección, utilizamos las épocas para estructurar la enseñanza de la epistemología. En particular, en la experiencia identificada como *Bellaterra 4*, las épocas generaron la necesidad de secuenciar nuestro curso en tres sesiones de formato paralelo, dedicadas a cada una de ellas.
  3. *Las épocas como instrumento de análisis.* En el contexto de un proyecto de investigación acerca de las ideas de futuros maestros de educación infantil, utilizamos las épocas para construir un instrumento de análisis de los resultados recogidos. Agrupamos las ideas en tres modelos *–tradicional, avanzado y actual–*, que corresponden grosso modo a nuestras épocas.
  4. *Las épocas como inspiración para la periodización de otro campo de estudios.* Usamos las tres épocas para iluminar el estudio de otro campo académico, la *semántica jurídica*, cuya evolución intuíamos paralela. En nuestra presentación, junto con Jordi Lalinde, en la Vaasan Yliopisto (Finlandia), se validó nuestra periodización analógica de ese campo.

Estas diferentes aplicaciones han requerido el progresivo afinamiento del aparato de las épocas. Nuestra versión actual de esas épocas es congruente con algunas propuestas anteriores hechas desde la didáctica de las ciencias y la epistemología, tal como hemos



intentado mostrar en el capítulo 4. Además, el hecho de poder generar derivaciones plausibles que abren perspectivas ayuda a sostener la validez de nuestras ideas.

#### 7.4 Validación consecencial de los campos

Nuestro constructo de los campos teóricos estructurantes también ha sido puesto a prueba por medio de varios usos complementarios, analíticos y didácticos:

1. *Los campos como herramienta de diseño curricular.* Algunas de las experiencias de formación del profesorado de ciencias (en especial, las llevadas a cabo en Neuquén y Valladolid), utilizan el aparato de los campos como guión general que estructura las sesiones, los temas y los ejemplos.
2. *Los campos como instrumento de análisis.* Los campos han sido usados para analizar las propuestas didácticas de Michael Matthews alrededor del péndulo.
3. *Los campos como instrumento de selección.* Los campos han sido usados para seleccionar y adaptar propuestas ajenas de enseñanza de la epistemología, tanto para criticarlas como para utilizarlas en la formación del profesorado de ciencias.
4. *Los campos como heurístico.* Los campos nos han permitido generar ideas epistemológicas clave para la formación del profesorado de ciencias.

#### 7.5 Posibles derivaciones de nuestras ideas

Queremos usar los campos para diseñar un curso de epistemología para el profesorado de ciencias	Actualmente estamos encarando la tarea de planificar un curso completo de epistemología para profesores de ciencias, cuyos capítulos se corresponderían con nuestros seis campos teóricos estructurantes.
---	---

Por otra parte, hemos mencionado ya algunas investigaciones e innovaciones en las que estamos participando con diversos colegas (capítulo 1) para explotar y mejorar los resultados de nuestra tesis. Las ideas con las que estamos intentando expandir nuestro marco son las siguientes:

1. Aplicar el modelo de *abducción* al conocimiento geológico acerca del interior de la Tierra (Adúriz-Bravo y Bonan, 2001).

2. Diseñar un crédito de acústica para la ESO siguiendo los lineamientos de nuestro esquema de desarrollo curricular (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001b).
3. Ayudar al diseño de un curso CTS para futuros maestros de educación primaria (Villamañán y Adúriz-Bravo, 2001).
4. Colaborar con las profesoras Bonan y Meinardi en una reedición de la actividad acerca de la epistemología de la didáctica de las ciencias.
5. Escribir un texto corto, divulgativo, sobre la nueva filosofía de la ciencia, dirigido al profesorado de ciencias (Adúriz-Bravo y Badillo, en preparación).
6. Explorar nuevos usos didácticos de las categorías de relación con una disciplina y anclaje en una disciplina (Adúriz-Bravo y Erduran, 2001).

## Parte II

### Tres aplicaciones para integrar la epistemología en la formación del profesorado de ciencias

---

En esta segunda parte de la tesis, se presentan nuestras tres propuestas de integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias. Estas propuestas, que hemos llamado *aplicaciones*, pueden ser entendidas como derivaciones didácticas generadas a partir de los elementos teóricos y empíricos recogidos en la primera parte.

La primera aplicación (capítulos 8 y 9) está pivotada en dos instrumentos de *diseño*, en el sentido que dan Anna Estany y Mercè Izquierdo (2001) a este término, que tiene que ver con considerar el desarrollo curricular en ciencias como una *tecnología* basada en los modelos teóricos de la didáctica de las ciencias (Adúriz-Bravo, Duschl e Izquierdo, en revisión). Los instrumentos, contruidos a partir del aparato conceptual que hemos desplegado en los capítulos 4 y 5, son los siguientes:

1. las ideas epistemológicas clave (capítulo 8), y
2. las actividades de enseñanza de la epistemología (capítulo 9).

La segunda aplicación (capítulos 10 y 11) se centra en la temática de la epistemología de la didáctica de las ciencias. Se plantea la hipótesis de que la reflexión epistemológica establecida *sobre una disciplina en concreto* puede tener un valor importante para la formación del profesorado de ciencias.

En un principio, nos remitimos a la primera aplicación, en la que se muestra a los profesores de ciencias cómo la epistemología ha sido tradicionalmente utilizada sobre las ciencias naturales; la segunda aplicación pretende *transferir* estas ideas metateóricas al análisis de una de las ciencias sociales. Entre estas disciplinas, elegimos la didáctica de las ciencias, porque ella puede fundamentar, desde un modelo tecnocientífico, la actividad de los profesores de ciencias. En este sentido, la tarea de análisis epistemológico que proponemos al profesorado de ciencias es también una tarea de revisión crítica de su propia práctica profesional.

La tercera aplicación (capítulos 12 y 13) se ocupa del análisis epistemológico de la ciencia escolar (Izquierdo, 1995b). En este caso, usamos una estrategia de *analogía*, que nos permite fundamentar el currículo de ciencias a partir de sus semejanzas y diferencias con la ciencia erudita, que ya estaba fundamentada en la primera aplicación.

Cada una de las tres aplicaciones está estructurada siguiendo el mismo formato:

15. una introducción general que la resume y la conecta con los elementos expuestos en la primera parte de la tesis,
16. un capítulo “teórico” (capítulos 8, 10 y 12), dedicado a exponer los contenidos epistemológicos que son objeto de enseñanza en la aplicación<sup>156</sup>, y
17. un capítulo “aplicado” (capítulos 9, 11 y 13), en el cual se recogen las actividades didácticas propiamente dichas, dirigidas a la formación epistemológica del profesorado de ciencias.

Las aplicaciones son relativamente teóricas, en el sentido de que se trata de lineamientos generales para guiar la intervención, y no de actuaciones didácticas concretas llevadas ya a cabo. Sin embargo, las aplicaciones incluyen una serie de elementos prácticos de diversa índole, que permiten apuntar a la factibilidad de la implementación de nuestras ideas.

Los elementos más importantes de esta segunda parte serían, a nuestro juicio:

1. la definición de las *ideas epistemológicas clave* (sección 8.2), como herramienta para la formación del profesorado de ciencias,
2. nuestra propuesta didáctica que usa la *Muerte en el Nilo* de Agatha Christie a fin de enseñar a los profesores de

---

<sup>156</sup> Partes de estos capítulos pueden ser consideradas como *textos didácticos* de epistemología para el profesorado de ciencias. De hecho, ya hemos explorado el uso de sucesivas versiones preliminares del material escrito de nuestras tres aplicaciones en diversas instancias de formación del profesorado de ciencias.

ciencias el tópico de explicación científica (sección 9.1)<sup>157</sup>,

3. nuestro metamodelo acerca de lo que es un *modelo teórico* en la didáctica de las ciencias (sección 10.2),
4. las dos experiencias de formación inicial del profesorado de ciencias (sección 11.3), llevadas a cabo en la Universidad de Buenos Aires, que implementan en la práctica nuestras ideas sobre la epistemología de la didáctica de las ciencias, y
5. la aplicación de los resultados de dos de nuestras líneas de investigación (acústica de la voz humana y epistemología de la ciencia escolar) en un ejemplo de síntesis, en el campo del desarrollo curricular en física de secundaria (capítulo 13).

---

<sup>157</sup> Esta propuesta es objeto de una publicación (Adúriz-Bravo, en prensa-c), y ha sido llevada a la práctica media docena de veces (ver el capítulo 7).

## Ideas epistemológicas clave

---

**Se remite a nuestra argumentación (introducción)** El primer momento de nuestro argumento recurre a la epistemología para completar y enriquecer la formación científica de las diversas poblaciones (estudiantes, profesores y didactas de las ciencias). En este caso, la epistemología se toma estrictamente en su función de reflexión metateórica sobre las ciencias naturales eruditas (Estany e Izquierdo, 2001), y se introduce en el currículo de ciencias y en la formación del profesorado de ciencias con tres finalidades complementarias:

1. contribuir a la dimensión cultural en la educación general del ciudadano (finalidad *cultural*)<sup>158</sup>,
2. proporcionar una reflexión crítica sobre la ciencia, con carácter metacognitivo (finalidad *intrínseca*), y
3. ayudar al aprendizaje de los contenidos científicos, sobre todo en lo que se refiere a aumentar su significatividad para la intervención en la vida social (finalidad *instrumental*).

La primera aplicación propone al profesorado de ciencias diversos modelos epistemológicos recientes y actuales, implementados bajo la forma de seis ideas clave, y vehiculizados a través de tres actividades didácticas originales. La aplicación surge entonces de revisar los campos teóricos estructurantes de la epistemología, buscando en ellos algunos modelos teóricos sugerentes propuestos por las que hemos denominado *visiones contemporáneas*. Llamamos a este procedimiento el *diseño por épocas y campos* (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001f).

---

<sup>158</sup> La epistemología contribuiría a la componente de “lo verdadero”, que, para Howard Gardner (2000), debería formar, junto con “lo bueno” y “lo bello”, el esqueleto del currículo de la educación obligatoria.

<p>La primera aplicación puede ser tomada como un conjunto de conclusiones de la primera parte de la tesis</p>	<p>Esta primera aplicación puede ser vista como un ensayo, primigenio y perfectible, de extracción de conclusiones a partir del material teórico y empírico recogido en la primera parte de la tesis. En este sentido, la aplicación constituye, en parte, el clásico apartado de <i>implicaciones y recomendaciones</i> para la educación científica, común en las tesis de didáctica de las ciencias.</p>
<p>Se resume la aplicación</p>	<p>El capítulo 8 persigue dar respuesta a nuestro primer objetivo específico, dirigido a identificar las <i>cuestiones</i> que subyacen a la didáctica de la epistemología. Proponemos cuatro de estas cuestiones: la <i>selección</i>, la <i>implementación</i>, la <i>coherencia</i> y la <i>relación</i> de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias.</p>

Luego se define el constructo de *idea clave* de la epistemología (Adúriz-Bravo, 2000a, en prensa-b), relacionándolo con los campos teóricos estructurantes y los postulados (recordar la figura 3.3). Al final del capítulo 8 se recogen seis ideas que hemos usado en diversas experiencias de formación del profesorado de ciencias.

El capítulo 9 plantea la aplicación propiamente dicha: tres actividades didácticas publicadas en dossiers y puestas en acción varias veces. Las actividades intentan enseñar los tópicos epistemológicos de *explicación*, *descubrimiento* y *analogía*, respectivamente. En ellas ponemos en práctica varias de las recomendaciones esbozadas a lo largo de la primera parte de la tesis.

Por un lado, los tres contenidos epistemológicos se presentan *relacionados* con la física y la química. Además, en las dos primeras actividades, los contenidos epistemológicos están *ambientados* históricamente, en sendos episodios de la física y la química de fines del siglo XIX e inicios del siglo XX.

Por otro lado, las actividades ponen en acción los lineamientos del modelo didáctico *generativo* (Osborne y Wittrock, 1985), que recogemos y expandimos en el capítulo 8. Además, las actividades exploran novedades en la dimensión de *método*, dado que

utilizan una novela de ficción, una biografía, dos películas comerciales, y una tira cómica.

Por último, se desea que las tres actividades que presentamos funcionen a modo de *ejemplos paradigmáticos* de enseñanza de la epistemología al profesorado de ciencias, para lo cual intentamos rescatar los puntos fuertes de las propuestas didácticas que forman nuestra base de datos (capítulo 6 y apéndice 4).



## Capítulo 8

### Cuestiones que plantea la didáctica de la epistemología

---

*Se resume el capítulo* La primera sección está dedicada a presentar nuestra propia visión del panorama actual de la didáctica de la epistemología, de acuerdo con el primer objetivo de la tesis. Esta visión ha sido generada a partir de tres fuentes principales:

1. nuestro meta-análisis bibliográfico,
2. nuestra participación en discusiones académicas sobre la temática, y
3. algunas propuestas anteriores para la formación del profesorado de ciencias en otros contenidos (científicos, pedagógicos, históricos).

*En el capítulo 7 se explica cómo se utilizaron las ideas clave* La segunda sección desarrolla el aparato de las llamadas ideas epistemológicas clave, que son nuestras herramientas didácticas para la formación epistemológica del profesorado de ciencias. Estas ideas se han generado a partir de los campos teóricos estructurantes, y se han puesto en práctica en algunas de las experiencias de formación que se relatan en el capítulo 7.

#### 8.1 Las grandes cuestiones de la didáctica de la epistemología

Esta sección está dedicada a avanzar en el cumplimiento de nuestro primer objetivo específico. A lo largo de la primera parte de la tesis, hemos ido dibujando para los lectores el panorama de las diversas problemáticas que se generan alrededor de la enseñanza de la epistemología para el profesorado de ciencias.

*Enunciamos una posible agenda de la didáctica de la epistemología* Creemos que la futura *agenda* de la didáctica de la epistemología podría estructurarse alrededor de cuatro cuestiones teóricas, que necesitan debate, constructos e investigación empírica (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001f; Villamañán y Adúriz-Bravo, 2001):

1. *Cuestión de selección.* ¿Qué epistemología enseñar?
2. *Cuestión de implementación.* ¿Cómo realizar el diseño curricular a partir de esa epistemología?
3. *Cuestión de coherencia.* ¿Qué metodología didáctica emplear?
4. *Cuestión de relación.* ¿Qué relaciones plantear con las propias ciencias y con la didáctica de las ciencias?

Tratamos ahora brevemente estas cuestiones en sendos apartados, acompañadas de algunas sugerencias para responderlas. Las sugerencias han sido construidas a lo largo de nuestra actividad de cuatro años en la didáctica de la epistemología.

### 8.1.1 Selección

La epistemología a enseñar en la educación científica debería ser *realista* y *racionalista* (capítulo 3)

El conjunto de modelos epistemológicos que hemos llamado *visiones contemporáneas*, en tanto que supera la visión relativista postmoderna de la ciencia al subsumirla en una reafirmación del *racionalismo moderado*,

ens ofereix una nova perspectiva per considerar conjuntament els processos de fer ciència i d'aprendre-la, sense caure en l'escepticisme epistemològic, que seria totalment contrari als objectius de l'ensenyament de les ciències. (Izquierdo, 1998b: 3)

Otro elemento importante de estos modelos es el *realismo crítico*. Esta postura parece particularmente apropiada para fundamentar el currículo de ciencias (Hodson, 1986, 1988, 1998), dados los objetivos proclamados en este currículo. Además, evita caer en “aberraciones epistemológicas” (Izquierdo, 1990b), tales como el realismo ingenuo o el instrumentalismo. Y está en la base de la didáctica de las ciencias de los próximos años (Osborne, 1996; Good y Shymansky, 2001).

Por tanto, las visiones contemporáneas constituyen un punto de apoyo consistente para dar respuesta a la cuestión de qué epistemología enseñar. Sobre este apoyo, pueden ir incorporándose algunos modelos epistemológicos, procedentes de otras escuelas, que se consideren valiosos.

<i>Recuperamos nuestro diagnóstico de la insuficiencia epistemológica de la didáctica de las ciencias (capítulo 3)</i>	En nuestro trabajo de formación del profesorado de ciencias, nos desmarcamos del uso extensivo de la nueva filosofía de la ciencia, que hemos detectado en la didáctica de las ciencias. Creemos que las ideas de esta escuela que son valiosas (por ejemplo, las de <i>evolución</i> y <i>revolución</i> científicas) pueden ser implementadas dentro de la matriz epistémica realista y racionalista que proveen la concepción semántica y, en particular, el modelo cognitivo de ciencia.
--	--

El modelo cognitivo de ciencia, además, permite una coherencia epistemológica entre los distintos órdenes de discurso. Sostenemos una visión cognitiva de las ciencias naturales para enseñarlas, y la misma visión cognitiva se aplica a nuestra idea de la didáctica de las ciencias y la epistemología como disciplinas, constituidas por modelos teóricos.

Por otra parte, la consideración de la epistemología como un estudio coordinado de las componentes de *proceso* y de *producto* de la ciencia, nos permite un basamento epistemológico más sólido para la didáctica de las ciencias (Arlegui de Pablos, 1995), ya que proporciona una imagen de ciencia más rica para encarar su enseñanza, superando las visiones polarizadas de las reformas curriculares históricas (Duschl, 1988).

Contra todo lo anterior, algunos autores situarían la componente realista y racionalista de los modelos que hemos utilizado, en las corrientes neopositivistas (Henningesen, 1984). Esta es plausiblemente la causa por la cual Javier Echeverría (1995) rechaza los modelos de racionalidad instrumental. Sin embargo debemos marcar que la racionalidad hipotética o instrumental, según la entendemos,

refiere simplemente al uso de un medio conocido y eficaz para alcanzar el objetivo deseado. (Giere, 1992b: 27)

y por tanto es compatible con los planteamientos basados en los *valores*, sin comprometernos con una *teleología*<sup>159</sup> ingenua que supone la eficiencia sin referencia a ellos.

### 8.1.2 Implementación

Remitimos a la <i>jerarquía</i> de elementos epistemológicos en el currículo (capítulo 3)	Una vez seleccionada, por medio de diversos lineamientos, la epistemología a enseñar, aparece la cuestión de cómo implementar ese contenido en la formación del profesorado de ciencias. En el capítulo 3 presentamos una estructura jerárquica que puede fundamentar la implementación curricular. Sin embargo, no explicamos allí los procedimientos para formular cada una de las unidades (campos, tópicos, ideas clave, postulados, escuelas, modelos y episodios).
---	--

Creemos que este es un problema de investigación valioso para el futuro de la didáctica de la epistemología y, en este sentido, su reconocimiento puede constituirse en una de las derivaciones más importantes de nuestra tesis.

Una solución tentativa a este problema sería recuperar los *postulados* epistemológicos disponibles en la literatura de la didáctica de las ciencias, organizándolos por medio de nuestros campos teóricos estructurantes. Como ejemplo de esta solución, en la figura 8.1 retomamos los catorce postulados de McComas, Clough y Almazroa (1998), presentados en la sección 3.3, ubicándolos dentro de los seis campos.

Se introduce el <i>diseño por épocas y campos</i>	Nuestra propia propuesta para este punto de la implementación es lo que hemos llamado el <i>diseño por épocas y campos</i> (Adúriz-Bravo, 2000a; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001f). Se utiliza la matriz de épocas y campos para organizar el <i>mapa</i> de
---	---

---

<sup>159</sup> Es decir, una visión *dirigida* del avance de la ciencia.

los modelos epistemológicos que se quieren enseñar. En un segundo momento, se realiza el barrido histórico de los campos elegidos, a fin de ver la evolución de las ideas teóricas que se han dado al respecto.

		<i>POSTULADOS</i>
<b>C A M P O S</b>	<b>C - R</b>	* Observations are theory-laden.
	<b>R - L</b>	* Science is an attempt to explain natural phenomena. * Laws and theories serve different roles in science.
	<b>I - M</b>	* Scientific knowledge relies heavily, but not entirely, on observation, experimental evidence, rational arguments, and skepticism. <i>* There is no one way to do science (therefore, there is no universal step-by-step scientific method).</i> * Scientists require accurate record keeping, peer review and replicability.
	<b>C - V</b>	* People from all cultures contribute to science. * Science is part of social and cultural traditions. * Science and technology impact each other. * Scientific ideas are affected by their social and historical milieu.
	<b>E - J</b>	* Scientific knowledge, while durable, has a tentative character. * The history of science reveals both an evolutionary and a revolutionary character.
	<b>N - R</b>	* Scientists are creative. * New knowledge must be reported clearly and openly.

**Figura 8.1** Organización de los postulados epistemológicos de McComas en nuestros campos teóricos estructurantes.

De este procedimiento de barrido se pueden extraer las visiones epistemológicas que se desean llevar a la formación del profesorado de ciencias. El diseño por épocas y campos permite además organizar la estructura curricular y discursiva de la propuesta de formación, y elegir los textos didácticos que se utilizarán en ella.

Como ejemplo del diseño por épocas y campos, presentamos en la figura 8.2 una matriz que recoge los diversos modelos epistemológicos que seleccionamos para una de nuestras instancias de formación de profesores de ciencias en activo. La matriz, formulada en inglés, se presentó en el grupo de ciencias de la Association for Teacher Education in Europe.

	<i>Logical positivism</i> <i>Received view</i>	<i>Critical rationalism</i> <i>New philosophy of science</i>	<i>Postmodernism</i> <i>Contemporary views</i>
<i>Correspondence</i> <i>Rationality</i>	representational realism hard rationalism	instrumentalism irrationalism	pragmatic realism moderate rationalism
<i>Representation</i> <i>Languages</i>	theory-based view	paradigm-based view	model-based view
<i>Intervention</i> <i>Method</i>	Unionism		secessionism praxeology
<i>Context</i> <i>Values</i>	Objectivity	contextualism	axiology
<i>Evolution</i> <i>Judgement</i>	cumulative view	revolutionary view	evolutionary view
<i>Normativity</i> <i>Recursion</i>	strong normativity		anarchy naturalism

**Figura 8.2** Ejemplo del *diseño por épocas y campos*. La matriz nos permitió organizar los contenidos epistemológicos seleccionados para un seminario de formación de profesores de ciencias en activo.

Recuperamos el acercamiento *pendular* a la epistemología

Una de las formas en las que se puede implementar el diseño por épocas y campos es el acercamiento que hemos llamado *pendular*, que presenta dos modelos epistemológicos extremos (el positivista y el relativista), y luego la *vía media*. Es decir, se comparan las dos primeras columnas de la matriz y luego se introduce la tercera como solución al debate generado.

Esta forma de acercamiento a la epistemología aparece utilizado dos veces a lo largo de nuestra tesis:

1. en el desarrollo histórico del campo de correspondencia y racionalidad (sección 5.3), y
2. en el diseño didáctico alrededor del tópico de explicación (apéndice 2).

Estos dos usos se pueden considerar como *ejemplos paradigmáticos* de nuestras innovaciones para la didáctica de la epistemología.

### **8.1.3 Coherencia**

Usamos el término *coherencia* para resaltar la idea de que la formación epistemológica del profesorado de ciencias debería ser compatible tanto con las otras componentes del currículo de su formación, como con los lineamientos generales de la educación científica.

En este punto, una dificultad que señala Izquierdo (1999b) es que la formación del profesorado de ciencias entrelaza discursos en dos niveles diferenciados: la enseñanza de las ciencias en el aula, y la enseñanza de la enseñanza de las ciencias. Aquí rescatamos el imperativo de coherencia *entre* niveles que plantea Galagovsky (1997): los profesores deberían ser formados de una manera similar a cómo ellos formarán a sus estudiantes, incluso cuando los *contenidos* sean muy distintos en uno y otro caso.

Consideramos que el modelo didáctico generativo puede paliar en parte la dificultad señalada, y ayudar a la coherencia. Dentro de este modelo, es posible integrar las diversas estrategias de formación epistemológica que se han propuesto desde la didáctica de las ciencias: el estudio de casos históricos, los experimentos cruciales, los debates y controversias, las narrativas, la hagiografía (es decir, las vidas de los “héroes” científicos).

Introducimos el modelo generativo expandido

Nuestra propuesta para este segundo punto es un modelo generativo *expandido*. Hemos explorado esta expansión debido a la dificultad que encontramos para implementar *directamente* los contenidos epistemológicos más elaborados en la formación del profesorado de ciencias, dificultad debida a su naturaleza metateórica intrínseca.

Partimos de la versión del modelo generativo en cuatro pasos: elicitación de ideas; presentación del modelo teórico escolar; exploración y aplicación; síntesis y evaluación<sup>160</sup>. Pero, llegados al segundo paso, el de la presentación del modelo, planteamos cuatro decursos complementarios (figura 8.3):

6 *Seguir el modelo generativo tradicional*. Se introduce directamente el modelo epistemológico, relacionado o anclado con los contenidos científicos. A partir de aquí, se continúa con la secuencia de pasos tradicional. En esta primera versión, los contenidos epistemológicos funcionan en todo como los contenidos científicos.

Recuperamos el diálogo de Mercè Izquierdo (capítulo 6)

El diálogo de Izquierdo (1998b) es un ejemplo de esta secuencia generativa tradicional: el tópico de la influencia del contexto en la ciencia se presenta, desde el inicio, relacionado con la química y ambientado históricamente en el nacimiento de la iatroquímica.

7 *Introducir un formalismo como mediador*. Se realiza la presentación del modelo epistemológico a través de sus definiciones formales, *sin* contenidos de ciencias. En un segundo momento, se procede a la relación o al anclaje con los contenidos científicos, y a partir de aquí se prosigue con los pasos tradicionales.

---

<sup>160</sup> Ver: Hacker (1984); Osborne y Wittrock (1985); García Barros et al. (2000); Sanmartí (2000b); Valanides y Angeli (2001).



Recuperamos la propuesta de Michael Matthews (capítulo 6)

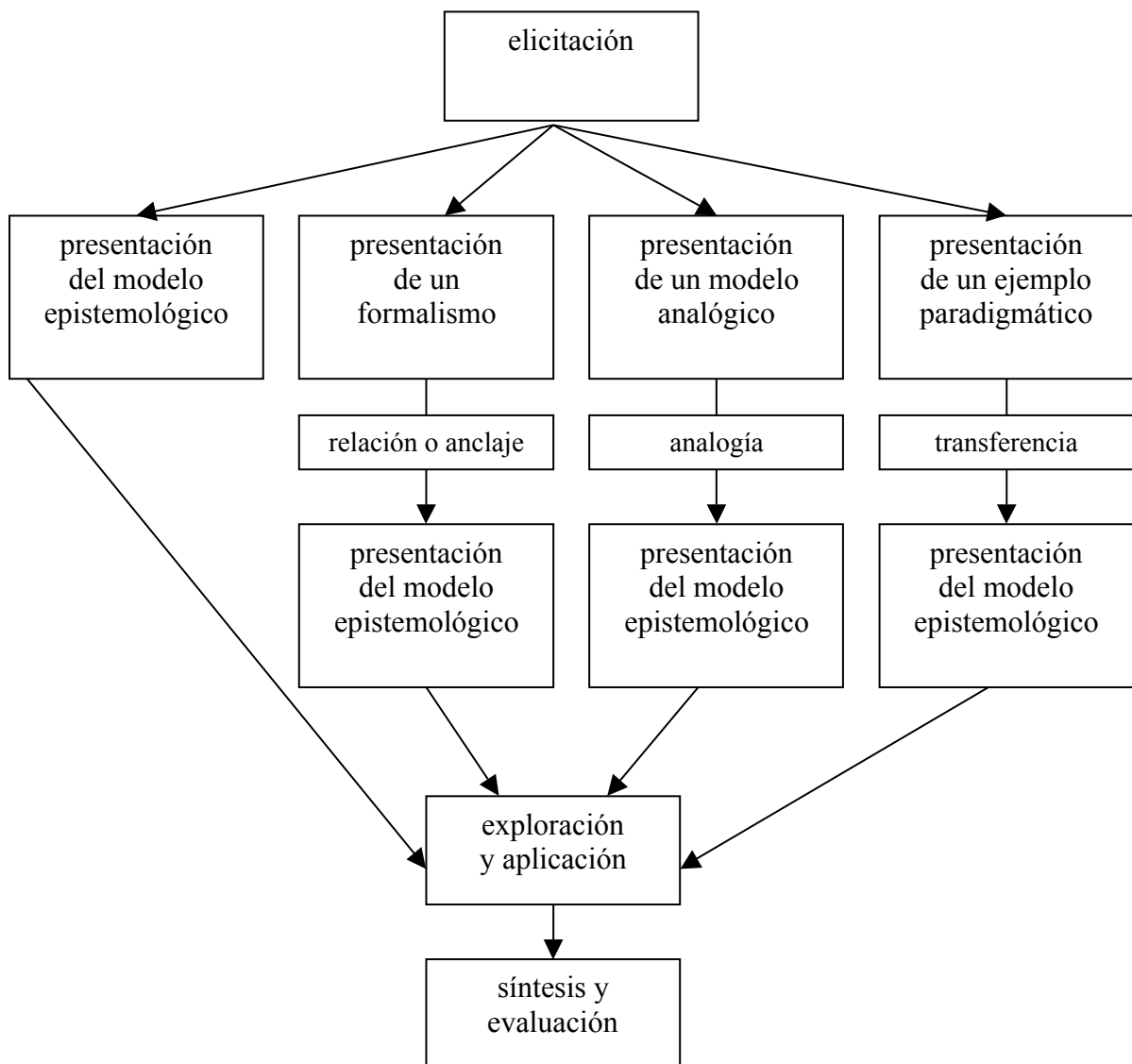
El episodio de Matthews (2000, 2001) es un ejemplo de este segundo decurso, que sigue un procedimiento en dos pasos. Primero, se presenta el proceso de falsación científica, en su versión sofisticada; este aparato se aplica en un segundo momento al viaje de Richer. El contenido epistemológico queda así relacionado con la física y ambientado históricamente.

- 8 *Introducir un contenido externo como mediador.* Inicialmente, se presenta un modelo proveniente de un campo semántico externo a la ciencia y la metaciencia. Puede ser, por ejemplo, un episodio de ficción o de la vida cotidiana. El segundo momento consiste en realizar una *analogía* con los contenidos epistemológicos que se quieren enseñar (contenidos *blanco*, o *target*), relacionados o anclados con las ciencias. A partir de aquí se prosigue con los pasos tradicionales.

Referimos a nuestro uso de la *Muerte en el Nilo* (capítulo 9)

*La actividad que proponemos en el próximo capítulo para enseñar a los profesores de ciencias el tópico de la explicación científica es un ejemplo de este tercer decurso del modelo generativo. Se introduce el campo semántico de las novelas policiales. A partir de allí, se transfiere la idea de explicación al ámbito de los modelos atómicos; se usa el episodio de la transición de Thomson a Rutherford. El tópico epistemológico queda así relacionado con la física y ambientado históricamente.*

- 9 *Introducir un ejemplo paradigmático como mediador.* La estructura del modelo epistemológico a enseñar se presenta inicialmente relacionada o anclada con algunos contenidos científicos en particular, junto con los cuales constituye un ejemplo paradigmático, relativamente fácil de imitar. En un segundo momento, se produce la *transferencia* al contenido de ciencias *blanco*.



**Figura 8.3** Modelo generativo expandido.

Recuperamos los libros de texto de la *Introducción al pensamiento científico* (apéndice 4) Podemos hallar ejemplos de este cuarto decurso del modelo generativo en la asignatura de *Introducción al pensamiento científico* (Universidad de Buenos Aires), que hemos mencionado en el capítulo 5. En los textos de esta asignatura<sup>161</sup>, se propone a los estudiantes universitarios el análisis de sus

<sup>161</sup> Díaz y Heler (1988); Gaeta y Robles (1990); Guibourg et al. (1998).

propias disciplinas de especialización, mediante modelos metodológicos previamente presentados en relación o anclaje con contenidos y episodios de ciencias célebres, entre otros: el descubrimiento de la penicilina, la revolución copernicana, el caso Semmelweis, la primera observación telescópica de Urano.

#### 8.1.4 *Funcionalidad*

Recuperamos nuestra dimensión de *contexto* (capítulo 4) La formación inicial del profesorado de ciencias en la didáctica de las ciencias ha tenido tradicionalmente un capítulo dedicado al vértice de los contenidos del llamado sistema didáctico (Estany e Izquierdo, 2001). Sin embargo, este aspecto epistemológico ha quedado muchas veces un tanto desconectado de los contenidos didácticos de las ciencias.

Por otra parte, la formación continuada del profesorado de ciencias ha brindado también oportunidades para la introducción de los contenidos epistemológicos, pero esta introducción se ha implementado a menudo en cursos cortos de metaciencias, desvinculados de la práctica real en el aula de ciencias y de la reflexión didáctica específica (McComas, 1998b).

La cuestión de la *funcionalidad* remite entonces a revertir, en la medida de lo posible, estas dos situaciones. Nuestra propuesta al respecto consiste en una segunda expansión del modelo generativo. Rescatamos la importancia de la *autorregulación* para el proceso de formación epistemológica. En este sentido, consideramos que el último paso del modelo (la evaluación) debería estar inscrito en *todo* el proceso. El uso de las estrategias de *metacognición* (Galagovsky, 1993b; Monereo Font, 1995; Engeström et al., 1999; García y Angulo, 2001), por tanto, nos parece de máxima importancia.

## 8.2 **Las ideas epistemológicas clave**

Los campos teóricos estructurantes son demasiado generales y abstractos como para llevar adelante la tarea de construir propuestas específicas (actividades didácticas propiamente dichas) para la enseñanza de la epistemología. Son necesarias *cuestiones*

de bajo nivel (Matthews, 1998) para operativizar los campos en la formación inicial del profesorado de ciencias.

Se define el concepto de *idea clave* de la epistemología Las ideas clave son afirmaciones genéricas acerca de la naturaleza de la ciencia, que se derivan de los campos y sus combinaciones, al ser especificados estos en modelos epistemológicos particulares. Las ideas se desglosan en postulados epistemológicos, como los que enumeramos en el capítulo 3.

A continuación exponemos seis ideas clave paradigmáticas, que han sido utilizadas en nuestras experiencias de formación epistemológica del profesorado de ciencias (capítulo 7). Inscibimos las ideas dentro de nuestros campos. Las ideas han sido presentadas en las formulaciones que dan título a los seis próximos apartados.

Hay también un séptimo apartado dedicado a recuperar las actividades de enseñanza de la epistemología (compiladas en el capítulo 6 y el apéndice 4), mostrando explícitamente para qué ideas clave podrían ser utilizadas provechosamente.

### 8.2.1 La ciencia es realista y racionalista<sup>162</sup> (correspondencia y racionalidad)

La epistemología a enseñar ha de ser realista y racionalista El modelo epistemológico general al que adherimos para la educación científica es *postconstructivista* (Solomon, 1994a; Osborne, 1996; Carretero et al., 1998; Good y Shymansky, 2001). Se trata de un modelo realista pragmático y racionalista moderado, proveniente de algunas de las visiones contemporáneas, tales como la de Ronald Giere y la de Javier Echeverría.

---

<sup>162</sup> Hablar de que la ciencia es realista es un abuso terminológico, pero caemos en él para dar cuenta de dos características complementarias: que el modelo realista es el más adecuado desde el punto de vista epistemológico, y que los propios científicos sostienen una visión realista de su actividad.

La corriente sociologista en la epistemología, hoy en día representada fundamentalmente por los llamados *science studies*, ha sido de gran influencia en la didáctica de las ciencias, a través de su participación en la elaboración del paradigma constructivista, que fundamenta nuestra disciplina. Sin embargo, como han mostrado muchos autores<sup>163</sup>, la visión de ciencia que estas escuelas contemporáneas detentan tiene fallas que la hacen en muchos aspectos incompatible con los fines proclamados para la educación científica.

Se remite al campo de *correspondencia y racionalidad* (capítulo 5) Frente a las recientes oleadas relativistas y anticientíficas en la educación, conviene enfatizar el carácter racional y realista de las ciencias. Se trata, eso sí, de un realismo constructivo y de un racionalismo moderado, derivados de considerar la actividad científica como una actividad humana inmersa en el contexto social general. Izquierdo (1990b) resume así la visión de las ciencias que nos proporcionan estos nuevos modelos que se desmarcan tanto del positivismo como del relativismo:

Las ciencias son realistas, pero sin ingenuidad; buscan la comprensión del mundo, no la verdad absoluta; elaboran explicaciones teóricas, a menudo muy alejadas del sentido común; son evolutivas, tanto por lo que se refiere a las teorías como al método; y el juicio científico es importante para decidir entre teorías rivales, en los momentos de cambio científico. (p. 26)

### 8.2.2 Las ciencias otorgan sentido a la acción a través del lenguaje (representación y lenguajes)

Marcamos la importancia de la *experimentación* y el *discurso* en la ciencia En este campo, nos interesa llevar la atención del profesorado de ciencias a la importancia que tienen la experimentación y el discurso escrito en el desarrollo de la ciencia erudita. Nuestro interés por estos elementos se debe a que consideramos que

<sup>163</sup> Por ejemplo: Matthews (1994c, 1995, 1997); Osborne (1996); Koertge (1998); Izquierdo (1999b).

ellos son igualmente fundamentales en la formulación de la ciencia escolar<sup>164</sup>.

La actividad experimental y la producción del discurso científico (escrito) son dos de los espacios fundamentales para entender la naturaleza de la ciencia. En estos espacios se manifiestan los aspectos semánticos profundos de la actividad de modelización. Pues,

in science, as in most learning, language and action work together. (Gooding, 1992: 69)

En esta línea, el uso de algunos hallazgos de los *science studies*<sup>165</sup> puede ser valioso para la educación científica, siempre y cuando se los separe del contexto teórico *relativista* en el que se los ha querido explicar.

Por otra parte, el *lenguaje* ocupa el lugar central en la educación científica. El lenguaje científico es específico y complejo;

because it is a language for the expert, it can often be problematic for the learner. (Halliday, 1993: 68)

Por tanto, los estudiantes deberían ser introducidos progresivamente en su uso y apropiación (Lemke, 1997).

En esta línea, puede ser interesante para los profesores de ciencias el análisis de los textos científicos históricos y actuales, buscando comprender los mecanismos retóricos que participan de su construcción (Izquierdo y Rivera, 1997; Izquierdo, 2000b, 2000c, en prensa-a, en prensa-b).

La ciencia utiliza <i>analogías</i>	Los modelos teóricos son <i>representaciones</i> , conectadas a la realidad a través de relaciones de semejanza. Consecuentemente, los procedimientos retóricos de la analogía y la metáfora asumen
-------------------------------------	---

---

<sup>164</sup> Ver el capítulo 12, donde se definen los conceptos de *experimentación científica escolar* y *argumentación científica escolar*.

<sup>165</sup> Por ejemplo, los expuestos en: Bloor (1976); Shapin y Shaffer (1985); Gooding (1992).

un rol fundamental en la ciencia. Así, los científicos utilizan patrones especialmente complejos de *razonamiento analógico* (Clement, 1993), que no se encuentran tan desarrollados en el pensamiento del sentido común.

Puede considerarse además que el razonamiento analógico sufre varios tipos de *restricciones*: semánticas, pragmáticas y estructurales (Thagard, 1992a). Y que este razonamiento participa en forma importante en los momentos de juicio teórico, tanto intraparadigmático (decisión científica) como interparadigmático (progreso científico).

Referimos a nuestra idea de la *función modelo teórico* (capítulo 12) Por todas estas consideraciones, la analogía y la metáfora han de cobrar también un lugar preponderante entre los procedimientos *retóricos* en el aula de ciencias (Glynn, 1990; Harrison y Treagust, 1994; Ogborn et al., 1996; Adúriz-Bravo, Gómez Moliné y Sanmartí, 2001; Martins, 2001). Esta afirmación nos ha llevado a proponer el constructo de función modelo teórico para dar cuenta de la mediación analógica en la construcción de la ciencia escolar (Adúriz-Bravo, Izquierdo y Duschl, 2001).

En la ciencia, es fundamental la correlación sólida entre fenómenos y modelos. En este sentido, en el análisis del conocimiento científico sigue vigente la pregunta formulada por Machamer (1998):

Exactly what is the relation that should exist between theory and its confirming evidence? (p. 8)

Y esta cuestión se corresponde, en el ámbito de la educación científica, con la pregunta que aparece en el texto clásico de André Giordan (1982):

¿Qué parte del saber aprendido les va a ser realmente útil [a los estudiantes] para el dominio de su entorno natural y social? (p. 19)

En la escuela, a menudo se presentan las teorías sin sus referencias a la realidad, lo que desoculta una concepción enunciativa implícita de estas (Izquierdo, 1992). Ahora bien,

en ausencia de hechos para ser explicados no hay necesidad de teoría. (Hodson, 1988: 11)

Estamos de acuerdo entonces con Izquierdo (1990b) en que

[e]l aspecto clave de la enseñanza en la escuela, el que va a abrir al alumno las puertas de la cultura científica, es llegar a comprender el carácter “teórico” de la ciencia. Los profesores de ciencias no pretendemos “llevar el mundo tal como es” a la clase; el objeto de nuestra enseñanza es todo aquello que se ha elaborado en el seno de la cultura científica occidental para “comprender” la realidad. Nuestro contacto con el mundo físico no es directo; los términos científicos con los que nos referimos a él no son descriptivos, ni icónicos, sino interpretativos, y tienen sentido en el seno de las teorías científicas, o de sus modelos. (...) Una de las dificultades mayores en el uso correcto del lenguaje en la clase de ciencias procede de la confusión respecto a lo que éste representa: no al mundo, sino a las ideas sobre el mundo. (p. 73)

Y resumimos esta postura en el siguiente principio de fundamentación epistemológica de la ciencia escolar:

Lo importante, ahora, es utilizar determinados modelos teóricos para relacionar determinados fenómenos y generar así “hechos científicos” en los cuales se puede intervenir (...). (Izquierdo, 2000a: 47)

### **8.2.3 La ciencia es una intervención activa sobre el mundo (intervención y método)**

Rescatamos la perspectiva epistemológica de la ciencia como actividad	En este apartado rescatamos, para la educación científica, el estudio de la ciencia como actividad. El conocimiento científico es, tanto como un cuerpo de aserciones lingüísticas, un conjunto de saberes prácticos y de representaciones acerca del mundo.
---	--



La intervención sobre el mundo (sea mental, representacional o material) es el objetivo fundacional de las disciplinas científicas. Consecuentemente, las teorías que no coligan con hechos (reconstruidos teóricamente) no tienen cabida en las ciencias fácticas:

Lo fundamental de las teorías no es la estructura formal del modelo, sino que éste tenga significado en el mundo. Los *modelos teóricos* son, pues, las entidades principales del conocimiento científico, siempre y cuando conecten con fenómenos y permitan pensar en ellos para poder actuar. (Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999: 48; cursivas en el original)

Estas consideraciones inspiran el *principio de economía didáctica* de Izquierdo (1999b): en el diseño del currículo de ciencias para la educación obligatoria, conviene presentar pocos modelos teóricos, aquellos que son más eficaces para que los estudiantes *intervengan* activamente sobre el mundo a nivel microcósmico (Izquierdo, 2001).

#### 8.2.4 Los valores de la ciencia condicionan sus intervenciones (contextos y valores)

Recuperamos una visión *contextualista moderada* de la ciencia, inscrita en la epistemología naturalizada contemporánea. Aceptamos que la ciencia tiene autonomía epistémica, pero sobre ella también repercuten los valores socioculturales del entorno.

La importancia de los valores en la ciencia erudita hace necesario prestar atención a los valores que, respectivamente, sustentan la educación científica:

La actividad escolar sólo puede ser científica si se fundamenta en los valores propios de la escuela y si, por lo tanto, se diferencia claramente de la actividad experimental de los científicos. (Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999: 57)

Referimos a nuestra tercera aplicación Por medio de la atención a los valores, se otorgaría al objeto de estudio de la didáctica de las ciencias –la *ciencia escolar*– la autonomía y la especificidad que le corresponde. Intentamos apoyar esta afirmación en nuestra tercera aplicación.

### 8.2.5 *Las ciencias evolucionan según lo que se enseña sobre ellas en los libros (evolución y juicio)*

Recuperamos la idea de la *naturaleza didáctica* de las disciplinas (capítulo 1) Esta idea clave conecta con nuestra sustentación del origen y desarrollo *didácticos* de las disciplinas científicas. Basada en estas consideraciones históricas, Mercè Izquierdo (en preparación) propone una visión de la química

[centrada] en el conocimiento químico tal como aparece en los libros de química, pero dando pistas para identificar su relación con la *actividad química* a la que se refieren. Los términos y símbolos con los cuales se explica ahora lo que es el cambio químico no se refieren directamente a los fenómenos, sino a entidades que representan *relaciones* (...) entre fenómenos. (p. 19; las cursivas son nuestras)

### 8.2.6 *La educación científica es una componente fundamental en el desarrollo de las ciencias (normatividad y recursión)*

El constructo de *contexto de educación* articula nuestras tres últimas ideas clave Esta idea clave conecta con las que corresponden a los dos campos anteriores. El contexto científico de educación es fundamental; las ciencias nacen y se desarrollan con la voluntad de ser enseñadas. Un conocimiento es genuinamente científico *sólo si es enseñable*:

Hay que recalcar que la ciencia se convierte en un saber en la medida en que (...) [su] conocimiento es enseñado. (Echeverría, 1995: 71)

Queremos dejar sentado que los argumentos de Javier Echeverría (1995, 2001) en torno al contexto de educación y sus valores tienen un notable interés teórico para la didáctica de las ciencias. Creemos que esta es una línea abierta para mucho trabajo fructífero.

La visión de este autor enfatiza el poder *transformador* de la ciencia, y el lugar central de la educación científica en la expansión y profundización de estas transformaciones del mundo. Se puede ver esto en la extensa cita a continuación:

Lo primero que [la ciencia] transforma (contexto de educación) son las mentes y las conductas de los seres humanos, habituándolas a ver la realidad desde el prisma de la ciencia y enseñándoles a manejar los instrumentos científicos básicos. A continuación transforma el saber previo (tanto teórico como práctico), así como los propios instrumentos e instituciones científicas: con ellos se contribuye a transformar el mundo, aunque sea a nivel microcósmico, o aunque esa transformación sólo afecte a nuestras representaciones del mundo (contexto de innovación). Todos esos cambios y transformaciones son evaluadas en función de criterios axiológicos; éstos últimos también son cambiantes, y sus transformaciones forman parte del progreso general de la humanidad (...). Por último, tanto los conocimientos como los instrumentos científicos son implementados en forma de artefactos para la transformación del mundo material. (p. 102)

### 8.2.7 Ejemplos paradigmáticos de enseñanza de las ideas epistemológicas clave

En este apartado intentamos hacer converger nuestras ideas clave con las actividades de enseñanza de la epistemología que hemos recogido en la primera parte de la tesis. Sugerimos que algunas de esas actividades permiten tratar con gran riqueza varias de las ideas clave simultáneamente. De hecho, hemos puesto a prueba esta hipótesis en nuestras experiencias de formación del profesorado de ciencias (particularmente, en las que, en el capítulo 7, hemos denominado *Bellaterra 1*, *Buenos Aires* y *Valladolid*).

En la figura 8.4 se presenta una tabla que enumera cuatro actividades didácticas seleccionadas y las ideas clave que pueden ser tratadas con ellas.

<i>Actividad</i>	<i>Ideas clave</i>
El diálogo de Izquierdo	2, 3, 4, 5, 6
El péndulo de Matthews	1, 2, 3, 4
Los cómics de Gallego	3, 4, 6
La muerte en el Nilo (capítulo 9)	1, 2

**Figura 8.4** Algunas de las actividades didácticas que hemos recogido en esta tesis sirven para implementar nuestras ideas epistemológicas clave en la formación del

profesorado de ciencias.

El hecho de que estas actividades permitan tratar en forma combinada varios tópicos epistemológicos importantes, nos da pie para avalar nuestra afirmación, arriesgada en el capítulo 6, de que se trata de ejemplos paradigmáticos valiosos para el campo de la didáctica de la epistemología.

Se resume el capítulo En este capítulo recopilamos tres ejemplos de enseñanza de la epistemología que hemos diseñado en los últimos cinco años para la formación de estudiantes, profesores de ciencias y didactas de las ciencias. Los ejemplos se enfocan sobre los siguientes tópicos:

1. la explicación científica,
2. el descubrimiento científico, y
3. la analogía en la ciencia.

En nuestras actividades, estos tópicos se enseñan *relacionados* con contenidos de física y química (modelo atómico, radiactividad, tabla periódica de los elementos) y *ambientados* en episodios de la historia de la ciencia de fines del siglo XIX y principios del XX (la transición del modelo atómico de Thomson al de Rutherford, el descubrimiento del polonio y el radio).

Nuestras actividades didácticas se exponen a continuación en sendas secciones. Las actividades han sido publicadas y puestas a prueba en cursos de formación epistemológica de diversas poblaciones.

### **9.1 Aprender sobre la explicación científica mediante novelas policiales**

*campo:*  
*correspondencia*  
*y racionalidad* La primera actividad didáctica que presentamos se enfoca primordialmente sobre el campo de correspondencia y racionalidad, tocando, a la vez, tópicos epistemológicos atinentes a los campos de representación y lenguajes, intervención y método, y normatividad y recursión. Todos estos campos se conectan entre sí por medio de la cuestión epistemológica estructurante de la *explicación científica*, que, a

nuestro juicio, posee un enorme poder agrupador (Baker y Clark, 1989; Duschl, 1997; Newton et al., 1999).

Se recupera la importancia de la explicación científica en la formación del profesorado de ciencias	Como ya se dijo, la explicación científica ha sido desde el inicio de la epistemología uno de los tópicos que más atención ha recibido (Hempel, 1979, 1988; Harré, 1985; Achinstein, 1989; Gillies, 1993). En este sentido, se ha considerado tradicionalmente que el <i>poder explicativo</i> es una de las características centrales del edificio teórico de las ciencias:
---	--

Uno de los principales [objetivos de la actividad científica] es la aspiración de que la ciencia sea capaz de proporcionar explicaciones tanto de las regularidades que se observan en el mundo que nos rodea como de los fenómenos particulares que caen bajo su consideración. Aunque la conformidad con los hechos observables y la compatibilidad con otros conocimientos aceptados tienen gran peso, el poder explicativo de una teoría constituye un factor importante; y los científicos lo tienen en cuenta en el momento de optar entre teorías rivales. (Gaeta et al., 1996: 9)

Ahora bien, el abordaje clásico (de la primera época) a la cuestión de la explicación científica ha sido de naturaleza lógico-lingüística, centrado en la *formalización* del patrón de explicación mediante un esquema de razonamiento:

[U]na explicación se concibe habitualmente como un argumento o *razonamiento* en el cual las premisas ofrecen un fundamento total o parcial de la conclusión, la cual describe el hecho que se quiere explicar. (Gaeta et al., 1996: 9; las cursivas son nuestras)

Rescatamos la importancia del <i>positivismo lógico</i> para la formación del profesorado de ciencias (capítulo 4)	De aquí la necesidad de recuperar el tópico epistemológico de los razonamientos, típico del positivismo lógico, para la formación del profesorado de ciencias. A partir de este tópico, podemos introducir modelos de explicación científica contemporáneos, tales como la <i>abducción</i> .
--	---

### 9.1.1 Patrones de inferencia

Echamos un vistazo a los patrones de inferencia según el positivismo lógico

Para exponer esta primera actividad, nos resulta imprescindible revisar primero algunos tópicos de lógica formal y de epistemología positivista lógica, que permiten a los lectores seguir más fácilmente nuestras consideraciones. Desarrollamos aquí los tres patrones clásicos de inferencia según la presentación canónica que hace Juan Samaja (1994: 84) utilizando el ejemplo de los *porotos*<sup>166</sup>, adaptado del original de Charles Sanders Peirce.

#### 9.1.1.1 La inferencia deductiva

La inferencia deductiva es un patrón de razonamiento cuya validez viene garantizada por su arquitectura lógica. En un razonamiento deductivo, si las premisas son verdaderas, la conclusión que de ellas se sigue ha de ser necesariamente verdadera. No examinamos aquí las diferentes herramientas formales que pueden utilizarse para analizar la validez de los patrones deductivos (Samaja, 1994). A menudo, esta validez es evidente o puede ser mostrada en forma compacta mediante los *diagramas de Venn* de la teoría de conjuntos.

La inferencia deductiva es una combinación de tres conjuntos de proposiciones que asume a menudo la siguiente forma:

Todos los porotos de esta bolsa son blancos.	[Regla]
Estos porotos son de esta bolsa.	[Caso]
<hr/>	
Estos porotos son blancos.	[Resultado]

<sup>166</sup> En la variedad rioplatense del castellano, *poroto* designa la alubia.

Es fácil demostrar que si las dos premisas son verdaderas, entonces la conclusión no puede ser más que verdadera. La capacidad que tiene este razonamiento de trasladar la verdad de las premisas a la conclusión es *independiente* del contenido, viene dada por la relación lógica formal entre las proposiciones.

#### 9.1.1.2 La inferencia inductiva

El razonamiento de tipo inductivo puede verse como una generalización a partir de casos particulares, como se ejemplifica a continuación:

Estos porotos son de esta bolsa.	[Caso]
Estos porotos son blancos.	[Resultado]
<hr/>	
Todos los porotos de esta bolsa son blancos.	[Regla]

Como se intuye a partir del ejemplo, la validez de la conclusión de esta clase de razonamiento es más bien relativa. Si la bolsa contiene mil porotos y sólo hemos examinado cinco, no nos sentiremos inclinados a generalizar la propiedad del color al resto de los porotos. A medida que examinemos más porotos de la bolsa, y todos resulten blancos, la conclusión se hará más fiable, pero nunca será verdadera hasta que no hayamos examinado *todos* los porotos. Este es el llamado *problema de la inducción*, una de las cuestiones más debatidas dentro de la epistemología de todos los tiempos<sup>167</sup>.

Las escuelas epistemológicas de raigambre racionalista se han opuesto desde siempre al uso del principio de inducción en los modelos metateóricos. Esta aproximación deductiva a la racionalidad, sin embargo, no da cuenta del hecho de que

tanto en la vida cotidiana como en la actividad científica basamos gran parte de nuestras creencias en inferencias semejantes [a la inducción]. (Gaeta et al., 1996: 9)

Para salvar este problema, la concepción heredada desarrolló una muy elaborada teoría de la *probabilidad lógica inductiva*.

---

<sup>167</sup> Para una presentación sencilla de este problema, ver Chalmers (1984).



### 9.1.1.3 La inferencia abductiva

Con las mismas proposiciones de los dos ejemplos anteriores, es posible construir un tercer tipo de razonamiento, llamado razonamiento *abductivo*:

Todos los porotos de esta bolsa son blancos.	[Regla]
Estos porotos son blancos.	[Resultado]
<hr/>	
Estos porotos son de esta bolsa.	[Caso]

En este caso, como en el de la inducción, puede verse que la fiabilidad de la conclusión también es parcial. Puede darse el caso de que los porotos, aun siendo blancos, provengan de otra bolsa. La certeza de la conclusión, entonces, se aumentará sólo si añadimos más características compartidas por ambos grupos de porotos.

Recuperamos la importancia de la <i>abducción</i> para la didáctica de las ciencias (capítulo 5)	El interés de la abducción radica en que puede ser vista como el correlato formal del proceso de modelización científica:  La abducción, como se ve, es el proceso de conectar modelos preexistentes con configuraciones de hechos y, de ese modo, acotar enormemente “los espacios de búsqueda”. (Samaja, 1994: 85)
--	--

De allí que consideremos que el tópico de la *explicación abductiva* tiene un gran valor para la educación científica y para la formación del profesorado de ciencias.

### 9.1.2 La metodología científica

Los patrones de inferencia que hemos recogido han servido, a lo largo de los siglos, como formalización de las diferentes versiones de la metodología científica, tal como mostramos a continuación.

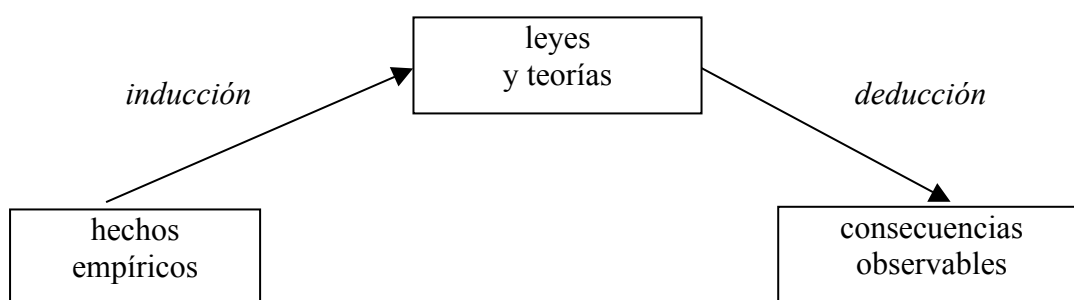
### 9.1.2.1 El método aristotélico

Las presentaciones clásicas de la explicación científica dentro de la epistemología<sup>168</sup> enfatizan la oposición entre los patrones de inferencia inductivo y deductivo, y la combinación de ambos en el llamado *método aristotélico* (figura 9.1). También los cursos tradicionales de epistemología para los futuros profesores de ciencias extraen sus contenidos de la *concepción heredada*, abundando en los tópicos de lógica formal.

Según esta visión, la metodología científica tiene dos momentos:

1. un *ascenso* inductivo desde los hechos empíricos hacia las leyes generales (generalización), y
2. un *descenso* deductivo desde las leyes hacia las predicciones y explicaciones particulares sobre los hechos.

Es decir, la ciencia comienza con la observación de hechos. De los hechos acumulados se inducen leyes generales, que se estructuran en teorías. A partir de las teorías, podemos deducir casos particulares para explicar o predecir situaciones observables, volviendo así a los hechos empíricos (Chalmers, 1984).



**Figura 9.1** El método científico inductivo-deductivo, que parte de los hechos empíricos y regresa a ellos.

---

<sup>168</sup> Por ejemplo: Hempel (1971, 1979).

### 9.1.2.2 El modelo de explicación nomológico-deductivo (modelo de Hempel-Popper)

La concepción heredada recoge las críticas de Popper al modelo inductivo ingenuo, y propone un esquema de explicación como *deducción* a partir de leyes generales:

Leyes generales.

Condiciones particulares.

\_\_\_\_\_ entonces \_\_\_\_\_

Explicación.

Las leyes son enunciados condicionales del tipo:  $(x) (Px \rightarrow Qx)$ . Esto es, para todo  $x$ , si se da  $P$  de  $x$ , entonces se da  $Q$  de  $x$ . La explicación se llama *nomológica* porque está establecida a través de subsumir el hecho a explicar bajo leyes científicas.

Esta forma de presentar la explicación, al estar apoyada en un *silogismo*, puede ser comparada luego fácilmente al modelo abductivo.

### 9.1.2.3 La explicación abductiva y la modelización

La exposición tradicional del tópico de explicación sólo considera la oposición entre los razonamientos inductivo y deductivo, y el rol de este último en la aceptación o rechazo de las teorías (verificacionismo o falsacionismo). Pero este enfoque pierde una característica importante del pensamiento científico, la *modelización*, que deberíamos procurar introducir en el aula de ciencias (Tiberghien, 1985; Linn, 1986, 2000; Greca y Moreira, 1998; Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999).

Hemos dicho que el razonamiento abductivo tiene importancia en el estudio de la metodología de la ciencia porque funciona como análogo formal de este proceso de modelización, prototípico de la investigación científica<sup>169</sup>. En efecto, puede sugerirse que modelizar un sistema real implica subsumirlo en una clase, o modelo, en razón de que comparte ciertos caracteres con el ejemplo idealizado que encabeza esa clase. Por

---

<sup>169</sup> Ver: Giere (1991, 1992b, 1999b, 1999c).

ejemplo, modelizar un bosque como un ecosistema en la biología supone incluirlo en la clase lógica (abstracta) de los ecosistemas, en virtud a ciertas características del bosque que se suponen típicas de aquellos.

El modelo abductivo de explicación científica recupera el patrón de abducción bajo la forma de un *silogismo condicional*:

Si un poroto es de esta bolsa, entonces es blanco.

Este poroto es blanco.

\_\_\_\_\_ entonces \_\_\_\_\_

Este poroto es de esta bolsa.

La primera premisa (o cláusula condicional) es una *regla de Thagard*<sup>170</sup>:

(x): P(x)    Q(x)

como lo son las leyes en el modelo nomológico.

Recuperamos la propuesta de Matthews (capítulo 6) Retomar este formalismo permite una *comparación* provechosa entre los razonamientos deductivo y abductivo, como la que hace Michael Matthews en el ejemplo del péndulo. Nuestra actividad didáctica toma como elemento central esta comparación.

#### 9.1.2.3.1 El problema de la abducción

La falta de necesidad lógica de la inferencia abductiva se puede ejemplificar intentando abducir una conclusión a partir del siguiente conjunto de premisas (Adúriz-Bravo, 1997b):

---

<sup>170</sup> Ver: Thagard (1992a, 1992b, 1997).

Todos los chóferes de autobús usan camisas azules.

Todos los recolectores de residuos usan camisas azules.

Todos los bomberos usan camisas azules.

Juan usa camisa azul.

\_\_\_\_\_ entonces \_\_\_\_\_

Juan es un ?

#### 9.1.2.3.2 La abducción como una analogía

La abducción puede ser vista en términos de *clases* lógicas, como una analogía entre el prototipo que encabeza la clase y el caso (ejemplar) que se quiere abducir. Tenemos que:

$K(q_1, q_2, \dots, q_n)$  es una *clase*, caracterizada por los *toques*, o caracteres,  $q_1$  a  $q_n$ .

$k_0(q_1, q_2, \dots, q_n)$  es un *prototipo*, que exhibe todos los toques.

$k(q_1, q_2, \dots, q_j)$ , con  $j < n$ , es un *ejemplar*, que exhibe sólo algunos de los toques.

La abducción es una *analogía* que se establece entre  $k$  y  $k_0$ . Para esta analogía, se tienen en cuenta los caracteres compartidos entre ambos elementos.

Este esquema permite retomar el ejemplo de las camisas azules para mostrar que, a la hora de abducir una conclusión, es necesario contar con un conjunto amplio de toques compartidos entre Juan (el ejemplar) y los prototipos de chóferes, recolectores y bomberos.

#### 9.1.2.3.3 La modelización como abducción<sup>171</sup>

La modelización puede ser llevada a un esquema formal que responda al razonamiento abductivo. En este esquema, las *definiciones* del modelo teórico formarían parte del conjunto de las premisas.

---

<sup>171</sup> Para ampliar este punto, ver Thagard (1997).

Según el modelo de Peirce:

El fenómeno P es enigmático.

La hipótesis H podría explicar P.

\_\_\_\_\_ entonces \_\_\_\_\_

H es probablemente verdadera, y debería someterse a prueba.

Según el modelo de Hanson (1958):

El fenómeno P es enigmático.

Fenómenos similares han sido explicados por hipótesis del tipo K.

\_\_\_\_\_ entonces \_\_\_\_\_

Es probable que la hipótesis que se requiera para explicar P sea del tipo K.

El modelo de Giere (1991, 1992b, 1996, 1999c), por su parte, es el más elaborado al respecto. En este esquema se comparan, mediante un proceso analógico de naturaleza no lingüística, el modelo teórico y el sistema. La comparación se establece a través de las *consecuencias* deductivas de sistema y modelo, para ver el grado de ajuste entre ambos conjuntos. Este procedimiento se lleva a cabo por medio de las llamadas *hipótesis teóricas*.

En un segundo momento, se *descartan* posibles modelos alternativos. Sólo si se dan ambas cosas satisfactoriamente (ajuste y exclusión de alternativas), se acepta provisionalmente el modelo abducido.

### 9.1.3 La muerte en el Nilo

*épocas:* Nuestra primera actividad tiene como fundamento la oposición positivismo lógico y concepción heredada, postmodernismo y visiones contemporáneas explícita entre la concepción basada en teorías (theory based view, TBV) y la concepción basada en modelos (model based view, MBV). Selecciona, por lo tanto, las épocas primera y tercera de la epistemología, enfrentando sus posiciones teóricas acerca de la justificación de los enunciados científicos.

En este sentido, como hemos mencionado anteriormente, la actividad se ocupa de manera secundaria del campo de normatividad y recursión, al llevar la atención del profesorado de ciencias a dos concepciones radicalmente diferentes acerca del razonamiento científico que la epistemología ha elaborado a lo largo del siglo XX. Retomamos así la sugerencia de Nott y Wellington (1998a) de presentar a los profesores de ciencias un panorama histórico de la epistemología.

Nuestra actividad didáctica utiliza la novela policial clásica *Muerte en el Nilo*<sup>172</sup> de Dame Agatha Christie Mallowan<sup>173</sup>, cuya versión original es de 1937. También usamos la versión filmica comercial de EMI, que es de amplia circulación.

#### 9.1.3.1 El razonamiento abductivo y las novelas policiales

Las novelas policiales en las cuales los lectores pueden hallar la solución al enigma que se plantea, demandan generalmente un esquema de razonamiento abductivo: a partir de cierta cantidad de pistas o indicios (contaminados con distractores), los lectores deben reconstruir una causa posible para todas ellas que sea al mismo tiempo la solución más probable para el enigma. La solución, entonces, es análoga a un modelo teórico.

Si la novela está bien construida, es de hecho posible hallar la respuesta con un poco de cuidado. Lo que sucede es que, en la reconstrucción de la “causa” que genera como efectos las pruebas, aparecen *múltiples soluciones* igualmente posibles, y son pequeños detalles los que permiten a quien lee decidir por una u otra.

#### 9.1.3.2 Estructura de la actividad

La actividad puede iniciarse por medio de una serie de preguntas introductorias acerca del género policial, para resolver en pequeños grupos; por ejemplo, las siguientes:

- 4 Describe cómo funcionan las novelas policiales. ¿Qué rol cumplen las “pistas” verdaderas y las falsas?

---

<sup>172</sup> También publicada como *Poirot en Egipto*.

<sup>173</sup> Christie (1978, 1993, 1996, 1998).

- 5 *¿Es posible averiguar el final a partir de los datos que el autor va dejando a lo largo de la historia? ¿Cómo?*
- 6 *¿Recuerdas algún ejemplo en el cual hayas podido dar con la solución basándote en las pruebas presentadas en la novela? Explica cómo procediste. (Adúriz-Bravo, en prensa-b)*

Se pide a los profesores de ciencias que esquematicen la estructura general de este tipo de libros a través de sus elementos constituyentes (crimen, pistas, distractores, sospechosos, detective, solución).

Luego se trabaja sobre un resumen de la novela, que puede ser construido en clase o aportado por los formadores del profesorado. Nosotros hemos elaborado el siguiente:

Durante un lujoso crucero por el río Nilo en Egipto, en los años '30, la joven multimillonaria estadounidense Linnet Ridgeway-Doyle es asesinada en su camarote por la madrugada. Por la mañana, la doncella la encuentra tendida en la cama, con un balazo en la sien. El marido de Linnet, Simon, y una amiga de ella, Jacqueline de Bellefort, tenían motivos para matarla. Son los principales sospechosos, pero tienen sendas coartadas. Fueron vistos por varios pasajeros discutiendo acaloradamente en el salón del barco (en el piso alto) cerca de la hora del crimen. Jacqueline, histérica y borracha, disparó contra Simon con una pequeña pistola que llevaba en su bolso. Algunos pasajeros se llevaron a Jacqueline a su habitación, donde le dieron un sedante y la dejaron vigilada por una enfermera. Luego volvieron al salón y encontraron a Simon solo, tendido en el sofá, con una herida en la pierna. Lo llevaron a su camarote y comprobaron que tenía la tibia fracturada. A partir de ese momento, y hasta la mañana siguiente, ni Simon ni Jacqueline pudieron haber salido de sus camarotes para cometer el crimen. La pistola de Jacqueline, que ella dejó caer en el salón, no fue encontrada después del incidente. (Adúriz-Bravo, 1997b: 11)

Hercule Poirot, el célebre detective belga protagonista de la novela, propone la siguiente solución:

Jacqueline y Simon se han puesto de acuerdo para matar a Linnet. La discusión



que tienen en el salón es fingida, y Jacqueline dispara al suelo, luego pateo la pistola debajo del sofá. Simon se derrumba tomándose la pierna con un pañuelo manchado de tinta roja. Cuando todos salen para acompañar a Jacqueline, Simon recoge la pistola, corre hasta el camarote de Linnet y la mata. Luego regresa al salón, envuelve la pistola en una estola de terciopelo (sustraída a una de las pasajeras) y se dispara en la pierna. Mete la pistola, el pañuelo y un cenicero en la estola, y arroja el paquete al Nilo por la ventana. Cuando todos vuelven, Simon está sangrando realmente. A partir de entonces, Jacqueline y Simon tienen una coartada para el resto de la noche. (Adúriz-Bravo, 1997b: 12)

Si se conoce el final de la historia, la *deducción* de los hechos que la autora usa como “pruebas” a lo largo de la novela es una tarea bastante sencilla. Se puede mostrar esto contestando las siguientes preguntas:

1. ¿Que tendría que haber oído alguien situado en el piso bajo del buque inmediatamente debajo del salón?
2. ¿En qué estado estaría la estola si fuese recuperada del Nilo?
3. ¿De qué color estaría manchado el pañuelo recuperado de las aguas del Nilo después de varios días?
4. ¿Que habrían encontrado en el comedor si lo hubieran registrado minuciosamente después del incidente fingido entre Simon y Jacqueline?

Introducimos como metodología el trabajo sobre una novela y un film Después de que se ha contestado, se puede trabajar comparando las respuestas de los grupos de profesores de ciencias a estas cuatro preguntas con las que da la propia Agatha Christie en la novela. Una vez más, es la propia clase la que puede buscar las respuestas en el texto o en el film, si se da tiempo para trabajar sobre ellos. Las respuestas son (Christie, 1993):

1. “Sí, me pareció oír un chapoteo y alguien que corría... o fue al revés” (p. 144).
2. “Cogió la estola de terciopelo empapada y la alisó sobre la mesa. Su dedo indicó las señales de chamuscamiento y los agujeros quemados” (pp. 160-161).
3. “Desenvolvió pliegue tras pliegue el terciopelo mojado. De él cayó un pañuelo basto, con manchas de color rosa” (p. 148).

4. “—¿Qué sucedió a la primera bala disparada por la muchacha contra Doyle?  
—Creo que fue a aplastarse en la mesa. Hay allí un agujero hecho recientemente” (p. 231).

La aplicación del esquema deductivo, tal como la hace la Christie, a la pregunta 1, sería un proceso como el siguiente:

Cuando queda solo, Simon corre por la pasarela hasta el camarote de Linnet y luego de vuelta al salón.

Simon arroja por la ventana el paquete a las aguas del Nilo.

(+ Ideas implícitas sobre acústica.)

\_\_\_\_\_ entonces \_\_\_\_\_

Se podría haber oído a alguien que corría y un chapoteo en el agua.

La aplicación del esquema abductivo, tal como supuestamente la hace Poirot, sería:

Se oyeron pasos y un chapoteo en el agua.

(+ Ideas implícitas sobre acústica.)

\_\_\_\_\_ entonces \_\_\_\_\_

Alguien corrió por la pasarela [hasta el camarote de Linnet].

Alguien arrojó algo [por la ventana] a las aguas del Nilo.

Con el conjunto de pruebas obtenido en la actividad anterior, los profesores de ciencias pueden analizar algunas de las dificultades para inferir el final de la novela. Estas dificultades llevan a discutir el hecho de que, en el esquema abductivo, la conclusión no tiene una certeza completa. Resulta interesante entonces comparar los razonamientos deductivo y abductivo:

1. ¿Cómo crees que construyó la autora la novela?
2. ¿Qué tipo de razonamiento utilizó para derivar las pruebas?
3. ¿Qué tipo de razonamiento le atribuyó al detective Poirot para “ascender” de las pruebas al crimen? Compáralo con el anterior.

Para sacar conclusiones, se puede completar un cuadro como el de la figura 9.2, con las premisas e inferencias de algunos fragmentos del razonamiento según lo realizó Agatha Christie y según lo puso en boca de Poirot.

<i>Razonamientos</i>	Agatha Christie	Hercule Poirot
Premisas ( <i>si...</i> )	<i>Simon</i> corrió por la cubierta superior hasta el camarote de Linnet.	Desde la cubierta inferior <i>se escucharon</i> pasos.
Inferencias ( <i>entonces...</i> )	Desde la cubierta inferior <i>se podían</i> escuchar pasos.	<i>Alguien</i> corrió por la cubierta superior hasta el camarote de Linnet.

**Figura 9.2** Los razonamientos de Agatha Christie (deductivo) y de Hercule Poirot (abductivo).

Destacamos dos observaciones sobre la figura 9.2:

1. Para la deducción de que *efectivamente* se escucharon pasos, hacen falta más premisas.
2. Para la abducción de que *Simon* (y no otro pasajero) corrió hasta el camarote de Linnet, hacen falta más premisas.

Con este cuadro puede compararse el tipo de razonamiento que aplican los lectores para inferir el final y el que usa la autora para construir la trama. Analizar las características de estos dos tipos de razonamiento desde el punto de vista de la *información* contenida en las premisas y en las conclusiones, puede servir como punto de anclaje para introducir el proceso de modelización.

Planteamos la <i>analogía</i> entre la investigación científica y la detectivesca	Por analogía, un modelo científico puede ser visto como una “solución probable” a un problema científico, que se ajusta a la mayoría de los datos empíricos disponibles, pero que es tentativa y puede ser reemplazada por otra mejor. Esta visión es
--	---

coherente con el modelo decisional de Giere (1992b).

La novela de Agatha Christie es especialmente indicada para esta actividad, porque está construida con una técnica “honesta”, que pone al alcance de los lectores las pruebas para dar con la solución. La oposición entre la posibilidad de solucionar el enigma y la dificultad para hacerlo correctamente es una buena metáfora del proceso de investigación científica, que también requiere de este salto creativo.

Las dificultades para descubrir al asesino en una novela policial son múltiples: hay que superar prejuicios (en el ejemplo, la narración nos lleva a creer que Simon se enamora de Linnet y que por lo tanto no puede estar en combinación con Jacqueline), y eliminar distractores (la desaparición del collar de perlas de Linnet, apuntando al robo como móvil del crimen). Para dar con la solución, es necesario construir una hipótesis sencilla y económica que dé cuenta de todas las pruebas genuinas presentadas.

La novelista, desde luego, *parte* de conocer el final y deducir de él los indicios, que luego introduce a lo largo de la novela, junto con distractores que desvían a los lectores de la solución correcta. A su personaje detectivesco le atribuye un pensamiento abductivo o creativo, generalmente expresado en frases como: “se hizo la luz de repente y cada pieza del rompecabezas encajó en su lugar”.

#### 9.1.4 *Reconstrucción racional de un episodio de la historia de la ciencia*

Esta actividad sigue el tercer decurso (analógico) de nuestro modelo generativo expandido (sección 8.1)	El tópico de la explicación abductiva se traslada ahora a los contenidos de ciencias, siguiendo para ello el tercer decurso de nuestro modelo generativo expandido. Usamos para ello el episodio célebre de la transición entre los modelos atómicos de Thomson y de Rutherford (Taylor, 1974; Kragh, 1997). Mediante diversos materiales de la historia de la ciencia, introducimos a los profesores de ciencias en el episodio.
---	---

##### 9.1.4.1 Contexto histórico

1903. Sir Joseph John Thomson, en Cambridge, propone el modelo del *budín de ciruelas* para el átomo.

1908. Hans Geiger realiza experimentos de *dispersión (scattering)* de partículas alfa.

1909. Ernest Mardsen realiza nuevos experimentos de scattering.

1911. Ernest Rutherford, en Manchester, propone el modelo del *sistema planetario* para el átomo.

#### 9.1.4.2 Reconstrucción abductiva del modelo de Rutherford

Podemos proponer la siguiente:

Si sobre una malla de nodos y espacios vacíos  
inciden pequeñas partículas,  
algunas pasarán y otras rebotarán,  
con diversos ángulos. (*modelo analógico* de tipo mecánico)

y

Sobre una lámina de oro  
inciden partículas alfa,  
algunas pasan y otras rebotan,  
con diversos ángulos.

\_\_\_\_\_ entonces \_\_\_\_\_

La lámina de oro es como una malla de nodos (*núcleos atómicos*) y espacios vacíos.

## 9.2 Los “descubrimientos” del radio

<i>época:</i> <i>postmodernismo</i> y visiones contemporáneas	La segunda actividad está enfocada principalmente sobre el campo de intervención y método. Nos interesa el tópico del <i>descubrimiento científico</i> , desde un modelo contemporáneo que
campo: intervención y método	dé cuenta de la relación compleja que se establece entre la evidencia experimental y el modelo teórico.

Otro campo que se trata secundariamente en esta propuesta es el de contextos y valores. Revisamos los asuntos epistemológicos de los grandes científicos y de las mujeres en la ciencia.

Esta segunda actividad didáctica trabaja sobre el film francés *Les palmes de M. Schutz* (1997), dirigido por Claude Pinoteau, y protagonizado por Isabelle Huppert (Marie Curie), Charles Berling (Pierre Curie) y Philippe Noiret (Profesor Schutz).

### 9.2.1 Contexto histórico

Pueden seleccionarse pasajes de diversos libros que tratan la vida de Marie Curie y el episodio del descubrimiento del radio (entre ellos: Curie, 1960; Molina, 1983; Ksoll y Vögtle, 1993).

1867. Nace en Varsovia (Polonia Rusa) Marya Sklodowska, la menor de cinco hijos de un profesor y una maestra.

1883. Termina el secundario.

1885. Toma cursos en la “Universidad Volante”.

1886-1890. Se coloca como institutriz.

1891. Llega a París para estudiar física en la Sorbonne.

1893. Obtiene la licenciatura en ciencias físicas.

1894. Obtiene la licenciatura en ciencias matemáticas. Conoce a Pierre Curie.

1895. Se casa con Curie.

1896. Descubrimiento de los rayos de Becquerel. Marie elegirá los rayos uránicos como tema de tesis doctoral.

1898. Descubre el polonio y el radio.

1902. Obtiene el cloruro de radio.

1903. Gana el premio Nobel de física, compartido con Pierre Curie y Henri Becquerel.

1905. Presenta su tesis doctoral. Pierre accede a una cátedra en la Sorbonne y a un sillón en la Académie des Sciences.

1906. Muere Pierre Curie en un accidente. Marie accede a la cátedra.

1910. Obtiene el radio metálico junto con André Debierne.

1911. Gana el premio Nobel de química. Se abre el Institut du Radium.

1914. Crea los “coches radiológicos” para atender a los heridos de la Gran Guerra.

1921. Viaja a los Estados Unidos, donde le regalan un gramo de radio.
1933. Visita Madrid.
1934. Muere en Francia. Los Joliot-Curie descubren la radiactividad artificial.

### 9.2.2 *Los méritos de Madame Curie*<sup>174</sup>

Nuestra actividad propone a los profesores de ciencias ver aproximadamente la mitad del film, para trabajar sobre él. Para este trabajo, coordinamos diversos episodios, cuestiones e ideas teóricas, que exponemos a continuación.

#### 9.2.2.1 Episodios

Se trabaja sobre tres episodios del film:

1. *Radiactividad*. Estudio de la “hiperfosforescencia” del uranio por medio del electrómetro de cuarzo piezoeléctrico, inventado por Curie. Descubrimiento del poder ionizante de las sales de uranio. Postulado de la constancia de emisión de radiación. Presentación ante la Académie des Sciences.
2. *Pecblenda*. Trabajo de Cambridge hablando de la radiactividad exagerada e irregular de la pecblenda de Bohemia. Descubrimiento de la existencia de un nuevo radiometal muy activo, pariente químico del bario. Compra de dos toneladas de residuos de pecblenda.
3. *Radio*. Tratamiento de los residuos por medio de la disolución y de la cristalización fraccionada. Obtención de las sales de radio puras. Premio Nobel de física.

#### 9.2.2.2 Cuestiones

Algunas cuestiones que utilizamos para guiar la discusión son las siguientes:

1. ¿Qué elementos *epistémicos* (esto es, relacionados con el propio conocimiento científico) y *no-epistémicos* permiten a los Curie explicar el fenómeno de la

---

<sup>174</sup> Este es el título que se ha puesto al film en castellano.

radiactividad y descubrir el radio? Menciona aquellos que a tu juicio aparecen sugeridos en el film.

2. ¿Cuándo descubren los Curie el radio? Identifica el momento en el film y justifica tu elección. ¿Se puede comparar este episodio con el descubrimiento del oxígeno?<sup>175</sup>
3. ¿Cómo se caracteriza a Madame Curie en el film? Compara con la caracterización que hace Ève Curie (1960) en la biografía de su madre.

### 9.2.2.3 Ideas teóricas

Algunas ideas teóricas que hemos encontrado útiles para que los profesores de ciencias respondan a las cuestiones anteriores, son las siguientes:

1. *Anomalía*. Problema científico que se resiste a ser resuelto dentro del paradigma vigente (Kuhn, 1971).
2. *Cambio conceptual radical*. Desplazamiento de un concepto desde una categoría ontológica hacia otra (Chi, 1992).
3. *Reconstrucción escrita del experimento*. Mecanismo retórico que correlaciona evidencias empíricas con modelos teóricos (Izquierdo y Márquez, 1993; Izquierdo et al., 1995).
4. *Distorsión funcional*. Alteración de los hechos históricos con fines retóricos y didácticos (Adúriz-Bravo, 2000a)<sup>176</sup>.

### 9.2.2.4 Reconstrucción abductiva del descubrimiento del radio

Partimos de tomar el célebre *modus ponens* (esquema deductivo):

Si p, entonces q.

p.

---

<sup>175</sup> Los profesores de ciencias tienen acceso previamente a materiales escritos acerca del descubrimiento del oxígeno: Kuhn (1971); Izquierdo (en preparación).

<sup>176</sup> Recuérdese que el concepto de *distorsión funcional* lo tomamos de nuestro meta-análisis de las propuestas para usar la historia de la ciencia en la educación científica (Gagliardi, 1988; Kipnis, 1998; Erduran, 1999b; Galili y Hazan, 1999; Gruender, 1999; Hernández González y Prieto, 2000; Solbes y Traver, 2001).



---

Luego q.

y lo oponemos a la *falacia de afirmación del consecuente* (esquema abductivo):

Si p, entonces q.

q.

---

Luego p.

La modelización científica utiliza en parte este último esquema, en una versión muy sofisticada que se apoya en la exclusión de modelos alternativos (Giere, 1991):

*Si* (modelo), *entonces* (consecuencias observacionales).

(consecuencias observacionales)

---

*Luego* (modelo).

Con este esquema, pedimos a los profesores de ciencias que hagan la reconstrucción del episodio histórico del descubrimiento del radio:

*Si* (hubiera un radiometal sumamente activo en forma de trazas en la peblenda), *entonces* (los residuos de peblenda serían más activos que su propio peso en óxido de uranio).

(los residuos de peblenda son más activos que su propio peso en óxido de uranio)

---

*Luego* (hay un radiometal sumamente activo en forma de trazas en la peblenda).

### 9.3 La analogía en la ciencia

<i>época:</i> <i>postmodernismo</i> y visiones contemporáneas	Hemos diseñado esta tercera actividad para que los profesores de ciencias reflexionen sobre el uso de la analogía en la ciencia erudita y en la ciencia escolar. El campo estructurante principal, consecuentemente, es el de representación y lenguajes.
<i>campo:</i> representación y lenguajes	Utilizamos visiones contemporáneas provenientes de la pujante retórica de la ciencia (Gross, 1990; Wolpert, 1992; Halliday y Martin, 1993; Izquierdo, 2000c).

La actividad trabaja sobre la tira cómica *Matías*, del dibujante argentino Sendra. Hemos seleccionado cinco episodios de la tira; en ellos (Sendra, 1993), el pequeño Matías plantea analogías mordaces para describir las máscaras de belleza de su madre, hechas a base de diversos comestibles. Un ejemplo de estas analogías se presenta en la figura 9.3.

#### **Figura 9.3** Una de las analogías de Matías.

Los diversos tipos de analogías se formalizan con elementos tomados de la lingüística. Por ejemplo, describimos la llamada *analogía anclada* (*anchored analogy*), muy utilizada en la didáctica de las ciencias (Clement, 1993; Harrison y Treagust, 1994), que es una analogía mediada por un elemento estructural o funcional que comparten el punto de partida y el blanco.

Posteriormente, las analogías se *relacionan* con los contenidos científicos. Se sigue para ello nuevamente el tercer decurso de nuestro modelo generativo expandido, que análoga el campo semántico de la “vida diaria” al de la ciencia. Los contenidos científicos que utilizamos provienen de dos fuentes:

1. episodios famosos de la historia de la ciencia, y
2. episodios reales de la educación científica, tomados de protocolos de investigación en la didáctica de las ciencias (Galagovsky, Bonan y Adúriz-Bravo, 1998).

Relacionamos el tópico epistemológico de la analogía con el contenido científico de los <i>modelos atómicos</i>	Un ejemplo de la primera fuente son los diversos <i>modelos atómicos</i> , debidos a Leucipo, Dalton, Thomson, Rutherford y Bohr (Adúriz-Bravo y Galagovsky, 1997; Adúriz-Bravo, Morales y Galagovsky, 1997). Ya en la actividad anterior habíamos mencionado la utilidad de estos contenidos científicos para establecer sobre ellos la reflexión epistemológica.
---	--

Lo que finalmente se busca que los profesores de ciencias comparen los mecanismos analógicos en la ciencia erudita y la ciencia escolar. Para ello, proveemos ejemplos del discurso de clases de ciencias en los cuales profesores y estudiantes utilizan argumentos analógicos para construir contenidos científicos (Galagovsky et al., 1996; Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001).

*La segunda aplicación propone a los futuros profesores de ciencias el análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias como disciplina* El segundo momento de nuestra argumentación se genera a partir del reconocimiento de la existencia de un registro epistemológico en la didáctica de las ciencias y de una componente epistemológica en el currículo de ciencias. Este doble reconocimiento llama nuestra atención sobre la enorme complejidad que tiene la didáctica de las ciencias como reflexión teórica sobre la educación científica, que a su vez también es una actividad compleja. Esto nos sugiere recurrir por segunda vez a la epistemología, en esta ocasión para buscar allí las herramientas teóricas que nos permitan analizar la propia didáctica de las ciencias como disciplina académica y como práctica profesional (Aliberas et al., 1989; Martínez Terrades, 1998; Porlán, 1998, 1999; Adúriz-Bravo, 1999b).

Nuestra segunda aplicación se configura alrededor del objetivo de trasladar algunos elementos del análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias a la formación inicial del profesorado de ciencias (Galagovsky, Adúriz-Bravo y Bonan, 1998). Esta segunda aplicación está dedicada a la enseñanza de la problemática que aparece *dentro* de la propia didáctica de las ciencias alrededor de su estatus como disciplina<sup>177</sup>. Esta problemática constituye lo que se conoce como la *cuestión epistemológica* (Adúriz-Bravo, 2000d; Eder y Adúriz-Bravo, 2000, 2001).

Nos centramos por tanto en la relación entre la didáctica de las ciencias y la epistemología que llamamos metateórica, en la cual la epistemología toma la didáctica de las ciencias como *objeto de estudio* propio (Aliberas, 1987, 1989; Aliberas et al.,

---

<sup>177</sup> Para literatura en castellano, ver: Gutiérrez (1987); Jiménez Aleixandre (1988); Aliberas et al. (1989); Porlán (1993, 1998); Adúriz-Bravo (1999b); Gil-Pérez, Carrascosa y Martínez Terrades (2000, 2001).

1989; Izquierdo, 1990b, 1999b; Martínez Terrades, 1998; Adúriz-Bravo, 1999b), para dilucidar su funcionamiento por analogía con otras actividades intelectuales.

Se define el análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias La epistemología, en tanto que reflexión teórica sobre las disciplinas científicas, puede ser aplicada a la propia didáctica de las ciencias (Aliberas, 1987; Adúriz-Bravo, 1999b; Izquierdo, 1999b). El análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias se ha de entender entonces como una revisión de segundo orden, o *metadiscursiva*, que se realiza a través de los esquemas teóricos más formalizados de la epistemología (Aliberas et al., 1989; Adúriz-Bravo, 1999b):

La epistemología, entendida como teoría general del conocimiento, permite también una reflexión de segundo orden respecto a la didáctica de las ciencias, y permite identificarla como una ciencia, con un objeto de conocimiento diferente del de las ciencias físicas. (Izquierdo, 1990b: 24)

El análisis epistemológico interno, por su valor profesionalizador, es llevado a la formación del profesorado de ciencias. Nuestra segunda aplicación propone a los profesores de ciencias lo que consideramos que puede ser un ejemplo paradigmático de reflexión epistemológica sobre la didáctica de las ciencias. En particular, abordamos una problemática que ha estado presente en nuestra disciplina desde sus inicios: la discusión de las relaciones que hay –y las que debería haber– entre la investigación, la innovación y la práctica en la didáctica de las ciencias (Hurd, 1991; Driver, 1997; Gascón, 1998c; Gunstone y White, 2000; Gil-Pérez, 2001; Viennot, 2001). Esta problemática *involucra de lleno a los profesores de ciencias* como protagonistas.

Existe un amplio consenso entre los didactas de las ciencias acerca de que la *aplicación* de los resultados de la investigación didáctica en la educación científica se puede realizar de forma bastante directa:

Las investigaciones [didácticas de las ciencias] nos dan una base bastante sólida para iniciar la enseñanza, ya que nos proporcionan elementos para planear actividades (...).

(Pessoa de Carvalho, 1994: 12)

Se propone a los profesores de ciencias un modelo tecnocientífico para la didáctica de las ciencias

Nuestra intención no es cuestionar aquí esta afirmación, que parece bastante avalada por la actividad didáctica de las ciencias de las últimas dos décadas (Gunstone y White, 2000; Millar, 2001; Viennot, 2001), sino que queremos proporcionar a los profesores de ciencias un modelo teórico plausible para explicarla y hacerla propia. Conceptualizamos la didáctica de las ciencias como una disciplina *tecnocientífica*, es decir, como una actividad de intervención sobre la realidad (en este caso, sobre la educación científica) que aparece informada y constreñida por el acervo de la investigación teórica sin limitarse a ser una consecuencia lógica de él, normativamente impuesta al profesorado de ciencias<sup>178</sup>.

Se resume la segunda aplicación

El capítulo 10 recopila los resultados de algunos trabajos actuales sobre la epistemología de la didáctica de las ciencias, y recupera las aportaciones que hemos hecho recientemente a este tema, derivadas de nuestra tesis de maestría (Adúriz-Bravo, 1999b). Esta revisión de antecedentes traza el contexto general para la propuesta propiamente dicha de formación epistemológica del profesorado de ciencias. La primera parte de este capítulo constituye un *meta-análisis* de aquella línea de la didáctica de las ciencias que está ocupada de la autorrevisión epistemológica.

El capítulo 10 expone también nuestra nueva aportación a esta temática epistemológica, inscrita como se dijo dentro de la concepción *tecnocientífica* de la didáctica de las

---

<sup>178</sup> Esta última ha sido la visión *tecnologista* tradicional de las didácticas específicas, de la que nos queremos separar explícitamente.

ciencias (Adúriz-Bravo, 1999b, 2000d; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001a, 2001c; Estany e Izquierdo, 2001; Adúriz-Bravo, Duschl e Izquierdo, en revisión). Se modeliza el proceso de *desarrollo curricular* en el área de ciencias naturales como una *tecnología*, cuyo conocimiento de base son los *modelos teóricos* que aporta la didáctica de las ciencias (Izquierdo, 1990b; Adúriz-Bravo, 1999b). Esta conceptualización original tiene consecuencias importantes en nuestra concepción del profesorado de ciencias como cuerpo profesional.

El capítulo 11 constituye la aplicación propiamente dicha. Se propone a los futuros profesores de ciencias el análisis de tres conjuntos de trabajos recientes, que hemos considerado posibles ejemplos paradigmáticos de investigaciones e innovaciones sólidamente fundamentadas en la didáctica de las ciencias. Los trabajos que elegimos se sitúan en el nivel *mesocurricular*, pues sustentan o proponen el diseño de grupos temáticamente hilados de unidades didácticas.

Se propone a los profesores de ciencias el análisis de tres investigaciones didácticas, para identificar sus <i>elementos</i> y sus <i>registros</i>	La selección y el análisis de estos ejemplos nos llevan a discutir cuáles serían los posibles criterios de juicio <i>externos</i> para que el profesorado de ciencias identifique una propuesta valiosa, o <i>de calidad</i> <sup>179</sup> , en la didáctica de las ciencias. En particular, intentamos mostrar que los ejemplos, seleccionados por ser coherentes con nuestra concepción general de la didáctica de las ciencias, pueden analizarse por medio de dos aparatos teóricos complementarios:
--	---

1. primeramente, se pueden desagregar los cinco *elementos constituyentes* del modelo teórico que subyace a cada propuesta didáctica, y
2. en segundo lugar, se pueden desacoplar los tres *registros convergentes* que confluyen en dicho modelo teórico.

---

<sup>179</sup> Recuérdese que llamamos *propuestas didácticas de calidad* a aquellas que están más en consonancia con nuestros modelos teóricos, dentro de un marco de racionalidad hipotética.

Partimos de la hipótesis de que el ejercicio de estudiar los modelos didácticos por medio de estos dos aparatos analíticos tendría utilidad para el futuro profesorado de ciencias. Los aparatos podrían funcionar a modo de *criterios de selección* pragmáticos, al mostrar a los profesores de ciencias cuáles son las propuestas didácticas disponibles que sintonizan con sus propios objetivos y valores generales y con su concepción didáctica de las ciencias. En este sentido, nuestros aparatos teóricos se constituirían en herramientas para ayudar a la *autorregulación* de la práctica profesional del profesorado de ciencias.

La segunda aplicación se valida en dos experiencias didácticas Nuestra segunda aplicación recoge también, como instancia de validez consecucional, dos actividades de formación inicial del profesorado de ciencias diseñadas usando nuestras ideas, llevadas a cabo por las profesoras Leonor Bonan y Elsa Meinardi en la Universidad de Buenos Aires, entre 1998 y 2001.

La última parte del capítulo 11 plantea brevemente aquellas conclusiones y perspectivas surgidas de nuestra aportación que pueden resultar de mayor relevancia para la propia didáctica de las ciencias, especialmente en el campo de la formación del profesorado de ciencias<sup>180</sup>. Se intenta argumentar, además, que el *análisis epistemológico* constituye una línea de investigación por derecho propio dentro de la didáctica de las ciencias actual (Porlán, 1998; Adúriz-Bravo, Izquierdo et al., 2001; Martínez Terrades et al., 2001), que resulta valiosa para los profesores de ciencias.

Los modelos epistemológicos que usamos son válidos para las ciencias *fácticas* (naturales y sociales) Debe tenerse en cuenta que todos los modelos epistemológicos que recogemos en esta segunda aplicación se consideran válidos para las ciencias *fácticas* o *empíricas* (Hempel, 1973; Bunge, 1980; Gaeta y Robles, 1990), entre las cuales incluimos las ciencias naturales y las ciencias sociales. Estas ciencias tienen la pretensión de constituir genuinas *explicaciones* sobre la realidad. Las ciencias formales, con sus características propias, son objeto de un tratamiento epistemológico muy diferente (Gaeta y Robles, 1990; Cañón, 1993).

---

<sup>180</sup> También se aportan elementos empíricos para avalar esta consideración.



Debemos también recordar que el uso del término *epistemológico* se hace en coherencia con la concepción amplia de epistemología a la que adherimos en el capítulo 2. Muchos de los epistemólogos y didactas de las ciencias que citamos otorgan a ese término un significado más restrictivo, por lo que nuestro empleo no debe ser adscrito a ellos<sup>181</sup>.

Definimos  
qué  
se entiende  
por  
*modelo* Hacemos aquí otra advertencia importante; es acerca de nuestra concepción epistemológica de lo que es un *modelo*. En la epistemología se utiliza el término *modelo* con dos sentidos bien diferentes<sup>182</sup>:

1. con *modelo* se hace referencia a la entidad *real*, o
2. con *modelo* se hace referencia a la entidad *teórica*.

Jesús Mosterín (1984) explica estos dos sentidos proyectándolos sobre el lenguaje natural:

A veces se usa “modelo” para designar lo pintado, lo representado, lo fotografiado. (...) Pero otras veces se usa “modelo” para designar el extremo opuesto de la relación, es decir, la pintura, la escultura, la representación, la maqueta. (p. 153)

Mosterín señala que el primer uso está difundido en las ciencias formales, a través de la llamada *teoría de modelos*. El segundo uso correlaciona con el *instrumentalismo* propio de las ciencias fácticas. Este autor también presenta un artilugio lógico para reducir el segundo uso al primero (Mosterín, 1984).

Es necesario marcar que tres de las fuentes epistemológicas más importantes para esta segunda aplicación, que son las escuelas *estructuralista*, *semántica* y *cognitiva*, toman el modelo científico en sus dos acepciones contrapuestas<sup>183</sup>. Para la primera de estas

---

<sup>181</sup> En las tradiciones francófona y anglófona, el término *epistemología* suele remitir sólo a un aspecto particular del análisis de la ciencia: aquel centrado en la *justificación* del conocimiento.

<sup>182</sup> Hay una discusión más extensa de este punto en Estany (1993).

<sup>183</sup> Para los detalles técnicos, ver Estany (1993).

escuelas, las *teorías* tienen la prioridad lógica; esto es consecuente con la concepción postpositivista y el énfasis en el aspecto lingüístico que el estructuralismo detenta.

El modelo, desde la visión estructuralista, resulta de la interpretación de un *cálculo lógico*. Es entonces un sistema real, “aquello a lo que se refiere la teoría” (Mosterín, 1984: 153). Vale decir,

si el sistema funciona tal y como lo indica la teoría, si en él se cumple lo que dice la teoría, decimos que el sistema es un modelo de la teoría. (Mosterín, 1984: 149)

Para la segunda y tercera escuelas, en cambio, los *modelos* tienen la prioridad lógica, ya que son las auténticas representaciones científicas del mundo. En este caso el modelo, desde el punto de vista semántico o cognitivo, funciona casi “como sinónimo de teoría” (Mosterín, 1984: 154).

Nosotros no tenemos en cuenta esta diferencia de partida, ya que utilizamos las herramientas teóricas de las tres escuelas en ámbitos más bien distintos<sup>184</sup>. Creemos que en las tres concepciones hay un énfasis similar en la importancia de las *aplicaciones* de las teorías al mundo; las teorías están caracterizadas *extensionalmente* por medio de la *clase* de todos sus modelos, sean ellos teóricos o reales. El importantísimo papel funcional y estructural que dan al concepto de *modelo* acerca mucho estas formulaciones epistemológicas.

Por un lado, en las concepciones semántica y cognitiva se da el nombre de *modelo teórico* a las

entidades *abstractas* que poseen todas y únicamente las propiedades que se les adscribe en los libros de texto. (Giere, 1992b: 102; cursivas en el original)

---

<sup>184</sup> En Estany (1993) se realiza un análisis de la compatibilidad entre las concepciones estructuralista, semántica y cognitiva.

Y por otro lado, en la concepción estructuralista, a fin de evitar los problemas de referencia que encontró la concepción sintáctica tradicional, también se considera que el modelo es una entidad abstracta proyectada a partir de la realidad:

Los modelos de una teoría son los correlatos *formales* de los trozos de realidad que la teoría explica. (Moulines, 1982: 78; las cursivas son nuestras)

Este énfasis en la *abstracción* de los modelos da mayor validez a la coordinación entre las tres concepciones. Como afirma el propio Ronald Giere (1992b), el uso que él hace del concepto de modelo

coincide convenientemente con el uso de los lógicos. (p. 103).

Por lo tanto, nuestro uso de la metacategoría de *modelo* debe tomarse en el sentido de una entidad teórica abstracta, lingüísticamente caracterizada a través de sus *definiciones*, que se corresponde analógicamente con una entidad construida sobre el mundo real (el *sistema*), a partir de una serie de criterios pragmáticos.

Nuestro análisis epistemológico busca lo que la didáctica de las ciencias tiene en común con las otras disciplinas científicas	Nuestro análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias se basa en la premisa de que las herramientas epistemológicas actuales tienen la especificidad y la potencia necesarias para ampliar nuestro concepto de ciencia a fin de dar cabida a las disciplinas más jóvenes sin por ello desnaturalizar el carácter propio de la actividad científica frente a otras actividades humanas.
--	--

En este sentido, somos conscientes de las diferencias epistemológicas que pueden darse entre las ciencias sociales y las naturales:

Que existen tales diferencias básicas entre esos vastos campos se ha afirmado a menudo. (Hempel, 1973: 14)

Sin embargo, consideramos que no es necesario enfatizar innecesariamente estas diferencias en un primer nivel de acercamiento del profesorado de ciencias a la problemática epistemológica de la didáctica de las ciencias.

Por ello, partimos de la hipótesis de que los aparatos epistemológicos provenientes de las que llamamos *visiones contemporáneas* –hasta el momento utilizados casi exclusivamente sobre las ciencias naturales– son adecuados también para el análisis de la didáctica de las ciencias, pues muestran lo que esta tiene en común con otras disciplinas científicas, sin desconocer que es un campo relativamente reciente y poco desarrollado.

Nos separamos así explícitamente de una tradición dentro de la epistemología de las ciencias sociales que utiliza modelos creados ad hoc, a la medida de las diferentes disciplinas, en un intento de justificar la cientificidad de sus saberes, a menudo puesta en duda por el positivismo. En nuestra opinión, estos modelos epistemológicos<sup>185</sup> no son satisfactorios, debido a su falta de especificidad y a su escaso poder explicativo y heurístico.

---

<sup>185</sup> Pueden verse algunos ejemplos de estos modelos recogidos en Mardones (1991).

Se define la cuestión epistemológica La *cuestión epistemológica*, esto es, la pregunta acerca del estatuto académico de una disciplina y la naturaleza de sus saberes, es común a la didáctica general y a las diferentes didácticas específicas, o didácticas de las áreas curriculares (Adúriz-Bravo, 2000d; Eder y Adúriz-Bravo, 2001; Perales et al., 2001). Tal preocupación metateórica aparece en la literatura especializada de todas estas disciplinas<sup>186</sup>. Dentro de la didáctica de las ciencias, también se han suscitado amplios debates en torno a esta cuestión<sup>187</sup>; en este capítulo resumiremos algunos de esos debates, los que consideramos más importantes para la formación del profesorado de ciencias.

Nuestra intención es mostrar a los profesores de ciencias algunas herramientas epistemológicas, por lo común desatendidas dentro de la propia didáctica de las ciencias, que son eficaces a la hora de entender –aunque sólo sea en parte– el funcionamiento de cualquier disciplina científica. Con esto queremos propiciar una agenda de discusión con bases teóricas más sólidas que las que se han venido utilizando hasta ahora en lo tocante al tema de la epistemología de la didáctica de las ciencias<sup>188</sup>.

---

<sup>186</sup> Ver: Benedito (1987a, 1987b); Fernández Huerta (1990); Godino (1991); Salvador Mata (1991); Arsac (1992); Mumbrú (1993); Camilloni (1994, 1996, 1998); Castellotti y De Carlo (1995); Gascón (1998a, 1998b); Litwin (1998); Porlán (1998); Eder y Adúriz-Bravo (2000).

<sup>187</sup> Algunos de los trabajos que hemos revisado al respecto son: Bowen (1975); Lamb (1976); Bybee (1977, 1987); Klopfer (1983); Watson (1983); Yager (1978, 1983, 1984, 1985); Duschl (1985); Gilbert y Swift (1985); Good, Herron et al. (1985); Good, Renner et al. (1985); Gutiérrez (1985, 1987); Mata y Anta (1985, 1986); Jiménez Aleixandre (1988); Aliberas et al. (1989); Hurd (1991); Astolfi (1993); Peme-Aranega (1997); Martínez Terrades (1998); Porlán (1993, 1998); Lijnse (2000).

<sup>188</sup> La inadecuación de los modelos teóricos utilizados en el campo de la epistemología de la didáctica de las ciencias es naturalmente un caso particular de la insuficiencia epistemológica de

Se trata de iniciar debates académicos en torno a ciertos aspectos problemáticos de nuestra disciplina, aportando para ello el aparataje teórico de la epistemología actual, antes que de dar a los profesores de ciencias respuestas terminantes o sobresimplificadas a estos aspectos, que, por otra parte, han sido frecuentes en trabajos anteriores.

Se resume el capítulo La primera sección del capítulo recoge diversos modelos epistemológicos formales y los aplica al análisis de algunos aspectos del funcionamiento de la didáctica de las ciencias que pueden resultar interesantes para el profesorado de ciencias.

En la segunda sección, exploramos la entidad *modelo teórico de la didáctica de las ciencias*, que surge de la aplicación del modelo cognitivo de ciencia a nuestra disciplina (Izquierdo, 1990b; Adúriz-Bravo, 1999b; Espinet, 1999). La exploración se hace por medio del análisis de dos ejemplos de modelos que ya han sido mencionados a lo largo de esta tesis.

En la tercera sección se atribuyen a la didáctica de las ciencias las características epistemológicas de la *disciplinariedad* y la *autonomía*, que son condiciones necesarias para hablar de nuestro campo como tecnociencia.

La cuarta sección está dedicada a profundizar en la distinción entre las componentes *científica* y *tecnológica* de la didáctica de las ciencias. Esta distinción es una pieza fundamental para entender el marco teórico que presentamos como la aportación propiamente dicha de esta segunda aplicación a la formación epistemológica del profesorado de ciencias. Dicho marco conceptualiza la práctica de los profesores de ciencias como una *tecnología* basada en el conocimiento didáctico de las ciencias.

---

gran parte de la literatura de nuestra disciplina, que revisamos extensamente en la primera parte de la tesis.

## 10.1 Análisis epistemológico general de la didáctica de las ciencias<sup>189</sup>

*Se definen los ámbitos del análisis epistemológico: gnoseológico, praxeológico y axiológico* En esta sección se expone in extenso una modelización de la estructura y el funcionamiento de la didáctica de las ciencias llevada a cabo con varios modelos epistemológicos actuales, que hemos importado del dominio epistémico de las ciencias naturales. Con estos modelos explicamos algunas características de nuestra disciplina en tres dimensiones:

1. la dimensión *gnoseológica*, que refiere a la estructura de conocimiento de la didáctica de las ciencias,
2. la dimensión *praxeológica*, que remite a la aplicación de este conocimiento a la realidad (esto es, a la educación científica), y
3. la dimensión *axiológica*, que involucra los valores que se sustentan en la disciplina.

Hacemos un uso extensivo del utillaje epistemológico con el fin de construir un modelo plausible del funcionamiento de la didáctica de las ciencias; para ello, tomamos desarrollos teóricos recientes de la epistemología<sup>190</sup>. Estas visiones contemporáneas proveen una serie de modelos de ciencia muy ricos, que abordan diferentes aspectos del conocimiento y la actividad científicas.

A menudo, los diversos modelos epistemológicos de los que se dispone actualmente se mantienen mutuamente desconectados, por el hecho de haber sido formulados desde distintas escuelas en competencia dentro de la disciplina (Aibar, 1997). Sin embargo, estos modelos son en muchos casos compatibles entre sí, y pueden ser seleccionados y utilizados conjuntamente de forma coherente para dar cuenta de los numerosos aspectos que constituyen la ciencia en general, o la didáctica de las ciencias en particular.

---

<sup>189</sup> Esta sección resume, modifica y complementa el capítulo 4 de nuestra tesis de maestría (Adúriz-Bravo, 1999b, páginas 200-288).

<sup>190</sup> Reseñados, por ejemplo, en Giere (1992b), Estany (1993), Gillies (1993), Echeverría (1995, 1999) y Suppe (2000).

Proponemos combinar pragmáticamente diversas herramientas epistemológicas

Desde la didáctica de las ciencias, este uso integrador y pragmático de los diferentes modelos epistemológicos disponibles ya ha sido iniciado por diferentes autores<sup>191</sup>. En particular, Mercè Izquierdo (Izquierdo, 1990a, 1992, 1994b, 1995a, 1996a, 1996b, 1998a, 1999b, 2000a, 2001; Izquierdo y Sanmartí, 1998, 1999; Izquierdo, Espinet et al., 1999) lleva varios años trabajando en la construcción de un modelo de ciencia (natural) que recoge distintos elementos teóricos valiosos y da sustento a la existencia de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma con un objeto característico, la *ciencia escolar*<sup>192</sup>.

Nosotros, por nuestra parte, hemos aplicado las diferentes herramientas de este modelo unificador, inicialmente concebidas para las ciencias naturales, a la didáctica de las ciencias, que es una disciplina del ámbito de las ciencias sociales (Adúriz-Bravo, 1998b, 1999b, 1999e, 1999/2000, 2000d, en prensa-a). La tesis que sustentamos aquí es que

*la didáctica de las ciencias, en tanto que es una disciplina científica, puede ser modelizada esencialmente con las mismas herramientas teóricas que sirven para cualquier otra disciplina científica.* (Adúriz-Bravo, 1999b: 203; cursivas en el original)

La presentación de las herramientas epistemológicas y su aplicación a la didáctica de las ciencias se realizan en el próximo apartado, estructurado en tres grandes párrafos. Esta partición tiene un doble objeto: ayudar a la claridad de la exposición y ser coherente con nuestra concepción general de ciencia.

#### 10.1.1 *Un modelo de ciencia complejo*

La epistemología actual concibe la ciencia como un fenómeno singularmente complejo, en el cual las facetas de proceso y de producto están íntimamente ligadas y resultan

---

<sup>191</sup> Entre otros: Abimbola (1983); Hodson (1986, 1988, 1998); Cleminson (1990); Matthews (1994a, 1994b, 2000); Duschl (1997).



difíciles de separar. Esta visión complejizada ha roto con las tradicionales divisiones tajantes entre los contextos de descubrimiento y justificación, entre el científico individual y la comunidad, y entre el discurso escrito y las formas de hacer ciencia (Izquierdo, 1992, 1999b, 2000a).

Características de los modelos epistemológicos que proceden de las visiones contemporáneas

Tras la desaparición de estas dicotomías, se ha llegado a una serie de modelos epistemológicos muy elaborados de las relaciones entre los hechos del mundo y el conocimiento científico, modelos que hemos agrupado bajo el nombre de *visiones contemporáneas*. Estos modelos, enfocados sobre diferentes aspectos parciales de su objeto o *representamen*, comparten sin embargo una serie de características comunes que los alejan fuertemente tanto de la concepción heredada como de la nueva filosofía de la ciencia (Giere, 1992b; Estany, 1993; Echeverría, 1995):

1. aplican la denominación de disciplina científica a una serie de campos tradicionalmente excluidos por la ciencia positiva, mal llamada *experimental*,
2. sitúan la ciencia de cada época en el centro de un complejo y rico sistema de relaciones con la sociedad y la cultura, desvaneciendo así la distinción tajante entre historia científica *interna* y *externa*,
3. naturalizan el juicio científico, tomándolo como una interacción entre decisiones individuales y factores sociales; dicho de otra forma, abandonan el concepto de *racionalidad categórica* (Izquierdo, 1999b, 2000a) y el modelo decisional pivotado en el *teorema de Bayes*,
4. desplazan el interés epistémico desde el concepto de *teoría* hacia el concepto de *modelo*, considerando el modelo científico como la unidad de representación más idónea (Giere, 1992a, 1992b; Suppe, 2000),
5. enriquecen el concepto de *semiosis* científica incorporando factores que provienen de la experimentación y de la elaboración del texto científico, y
6. se preocupan particularmente por los fenómenos de *transmisión* de la ciencia (la educación científica) en tanto que actividades intrínsecamente ligadas al

---

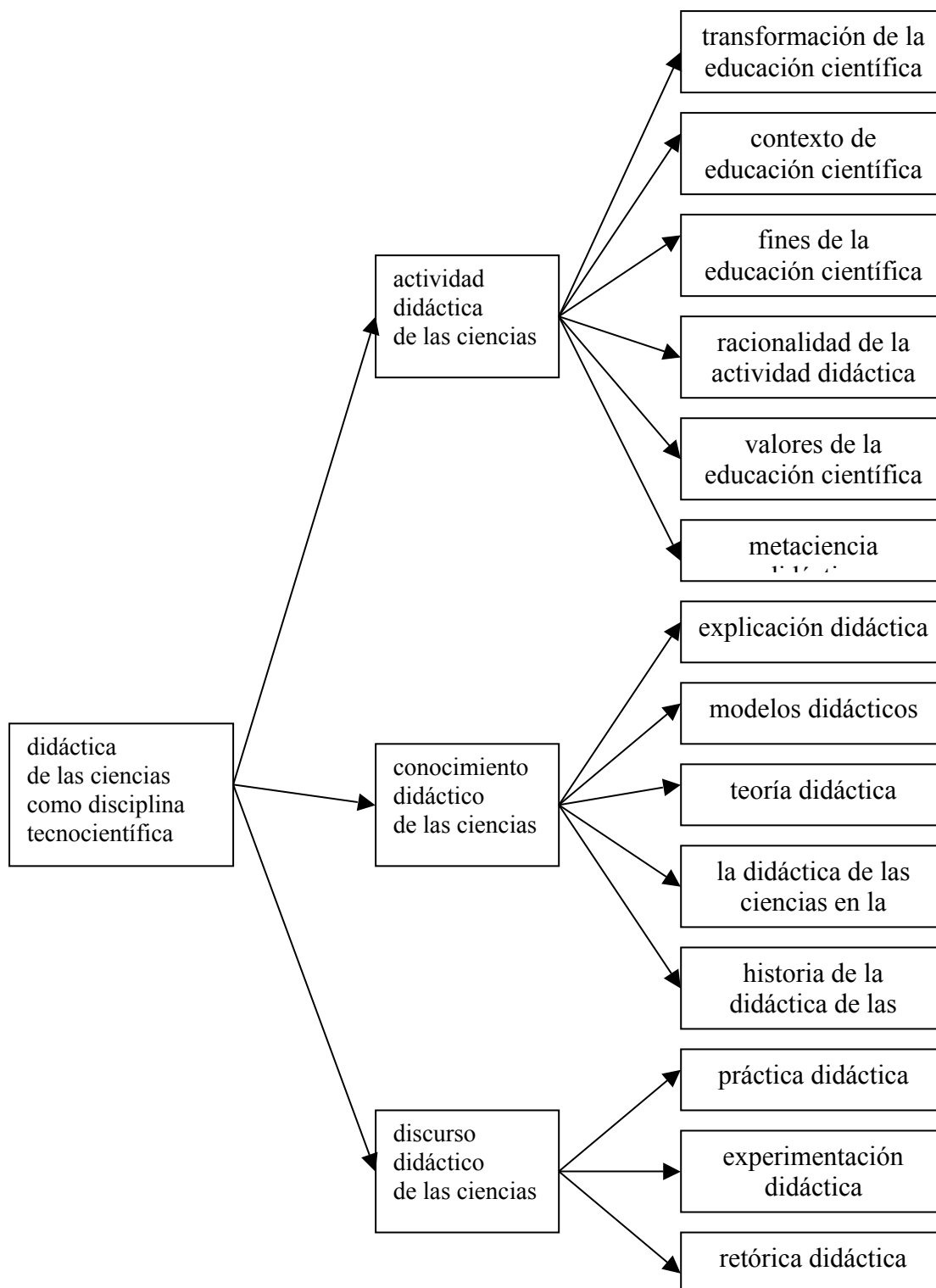
<sup>192</sup> Esta idea se expone en la tercera aplicación.

surgimiento y desarrollo de las disciplinas (Hannaway, 1975; Nye, 1993; Izquierdo, 1999b, en preparación).

Se enuncian los tres aspectos del análisis epistemológico: *actividad*, *conocimiento* y *discurso* En los próximos tres párrafos mostraremos los diferentes modelos epistemológicos que consideramos más útiles para que el profesorado de ciencias analice la didáctica de las ciencias actual. Los párrafos se centran respectivamente en los siguientes aspectos:

1. la ciencia como una *actividad* de intervención sobre la realidad, llevada a cabo en un conjunto de contextos,
2. la ciencia como una estructura de *conocimiento* derivada de esta actividad, y
3. la ciencia como un *discurso* escrito que predica sobre el mundo de los hechos empíricos.

Esta agrupación temática condice con las tres grandes *perspectivas* epistemológicas clásicas que presentamos en la primera parte de la tesis. Para cada uno de estos tres aspectos, se consignan algunos subaspectos seleccionados que corresponden a diversos modelos teóricos sugerentes para el análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias. Los títulos que hemos puesto a los párrafos que exponen estos subaspectos son *genéricos*; pueden estar referidos a cualquier disciplina científica. La aplicación particular de estos catorce subaspectos a la didáctica de las ciencias queda resumida en la figura 10.1, que puede dar a los lectores una idea global de los temas tratados en este apartado.



**Figura 10.1** Análisis epistemológico general de la didáctica de las ciencias. Se resumen los tres aspectos y catorce subaspectos tratados en los siguientes párrafos.

### 10.1.1.1 La ciencia como actividad

Se recupera el estudio de la actividad científica a través de seis modelos

Como se dijo, la consideración de la propia actividad científica como una componente importante del enfoque epistemológico es relativamente reciente. En general, el estudio de la actividad científica desde un punto de vista no estrictamente *metodológico* se había relegado a otras disciplinas metacientíficas ajenas a la *reconstrucción racional* de la ciencia, tales como la psicología y la sociología de la ciencia.

Esta arbitraria división de tareas estaba basada en la posibilidad de una precisa separación entre la actividad científica y el producto que de ella se deriva, que es el conocimiento científico. El cuestionamiento de la transparencia de tal separación ha exigido revisar el tradicional enfoque normativo, formal y racionalista de la epistemología durante el proceso de *naturalización* (Gieryn, 1985; Almeder, 1993; Siegel, 1993; Loving, 1997; Ambrogio, 2000).

Es así que actualmente hay disponibles variados modelos de la actividad científica con una genuina perspectiva epistemológica, que estudian los diferentes aspectos constituyentes de la ciencia buscando sus interrelaciones. A continuación exponemos aportaciones de seis de estos modelos de la actividad científica:

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

6. el *modelo intersubjetivo de ciencia*, que explica que la actividad científica se mejora a sí misma a través del proceso metacognitivo y regulatorio de la autocrítica.

Estos seis modelos epistemológicos han sido seleccionados por su capacidad potencial para dar cuenta de la configuración actual de la didáctica de las ciencias. Son, además, aquellos modelos que consideramos más sugerentes para la formación epistemológica inicial del profesorado de ciencias. En este sentido, varios de ellos ya han sido incluidos por Mercè Izquierdo (1998a, 2000a) en sus propuestas dirigidas a los profesores de ciencias.

#### 10.1.1.1.1 La ciencia como actividad transformadora

El objetivo de la ciencia es la <i>transformación</i> del mundo	En nuestros días, son varios los autores que ven la ciencia como una empresa fundamentalmente <i>transformadora</i> de la realidad natural y cultural (Hacking, 1983; Artigas, 1989; Estany, 1993; Echeverría, 1995, 2000):
---	---

La nueva ciencia recoge este interés pragmático, acorde con el intento de dominar la naturaleza, y señala una actitud *tecnológica* del conocimiento y sus aplicaciones. (Mardones, 1991: 25; subrayado en el original)

En este contexto, se considera que el conocimiento de la naturaleza está dirigido esencialmente a su dominio controlado. Conocimiento y dominio son tenidos como los objetivos *internos* –ambos igualmente importantes, e íntimamente ligados– de toda actividad científica (Artigas, 1989). En palabras de Peter Machamer (1998):

From this viewpoint, scientists attempt to figure out how and why the structures of the world work so that people can utilize this knowledge to control, change and modify the environment composed of those structures. (p. 3)

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

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

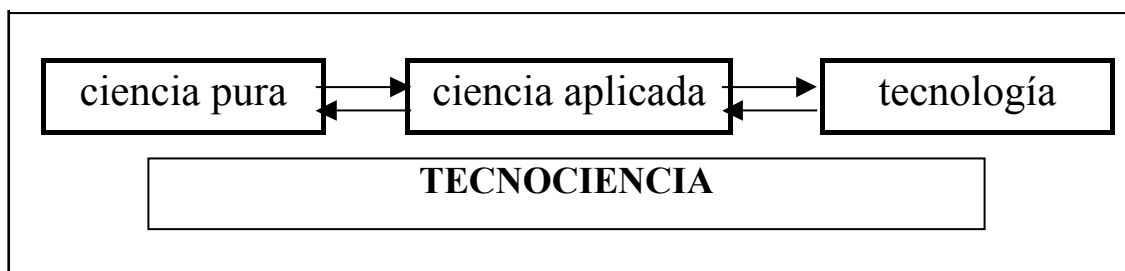
La ciencia, entonces, es vista como una forma de *representar* el mundo capaz de *intervenir* activamente en él. Esta caracterización nos provee de una herramienta poderosa para demarcar la ciencia de otro tipo de representaciones, menos eficaces para intervenir a gran escala. Lo esencial de la ciencia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

Se define el concepto de *tecnociencia*

Esta notable eficacia transformadora de la ciencia, constitutiva de su misma esencia, nos permite hablar actualmente de las *tecnociencias* como vastos conjuntos complejos formados por las disciplinas explicativas y sus tecnologías asociadas (Hacking, 1983; Estany, 1993; Niiniluoto, 1993; Echeverría, 1995, 2000). El concepto de tecnociencia, sin embargo, no implica que ciencia y tecnología sean inseparables e indistinguibles, sino que nos permite modelar un conjunto de actividades humanas ricamente interrelacionadas que transforman las formas de *pensar, decir y hacer* sobre el mundo (figura 10.2). Dichas operaciones de *representación, discurso y acción* científicas están dirigidas a la intervención activa en la realidad natural y cultural, al punto de que puede afirmarse que toda la empresa científica aparece encaminada finalmente a dar cuenta de los logros técnicos (Samaja, 1994).

La tecnología, aunque se mantiene necesariamente *compatible* (en el sentido lógico) con la ciencia (Bunge, 1980), la supera en muchos aspectos, ya que incorpora, entre otras cosas, elementos de diseño, juicios de valor, evaluaciones de eficacia, razonamientos prácticos y tradiciones artesanales:

Si bien la tecnología tiene un fundamento científico, no es una mera aplicación inmediata de las teorías científicas, pues utiliza métodos propios que no se deducen únicamente de las teorías. Es posible obtener logros empíricos sin que existan teorías que los expliquen. (Artigas, 1989: 11)



**Figura 10.2** La tecnociencia enlaza la ciencia y la tecnología, con la interfase de la ciencia aplicada, sin desnaturalizar ambas componentes, pero planteando relaciones ricas y bidireccionales entre ellas. Compárese con las concepciones de Mario Bunge (1976), Ronald Giere (1976, 1993) e Ilkka Niiniluoto (1993).

De lo expuesto aquí, se sigue que la distinción tradicional entre disciplinas puramente teóricas y disciplinas prácticas (o aplicadas) se vuelve hoy bastante relativa<sup>193</sup>. Podemos sostener que cualquier disciplina científica, independientemente del grado de formalización teórica de sus objetos, tiene metas prácticas implícitas y explícitas. *Todas* las disciplinas tecnocientíficas están dirigidas a transformar la realidad en forma conceptual, discursiva y material. En las tecnociencias, las formas de pensar están íntimamente ligadas a las formas de *hacer* (Izquierdo, 1990b, 1999b; Echeverría, 1995, 2000; Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999).

La didáctica de las ciencias puede ser considerada una *tecnociencia*, o una *ciencia de diseño* Este primer modelo epistemológico nos permite hablar de la didáctica de las ciencias como una tecnociencia (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001a, 2001c), cuyo ámbito de intervención es la *educación científica* en todos sus aspectos<sup>194</sup>. De este modo, la labor del profesorado de ciencias, la producción de innovaciones para la enseñanza de las ciencias, y la generación de modelos teóricos sobre la educación científica son actividades que

<sup>193</sup> Esta distinción se ha usado mucho para hablar de la didáctica de las ciencias como de una tecnología.

<sup>194</sup> Algunos autores que se han ocupado de la epistemología de la didáctica de las ciencias (Yager, 1983, 1984; Peme-Aranega, 1997; Black, 1998; Porlán, 1998) enfatizan sólo la dimensión aplicada y tecnológica de la disciplina, pero sus modelos también pueden considerarse inscritos en esta concepción tecnocientífica general.

interactúan al interior del campo de acción de la didáctica de las ciencias.

En particular, podemos caracterizar la didáctica de las ciencias, dentro de un modelo de racionalidad hipotética, como una *ciencia de diseño* (Niiniluoto, 1993; Estany e Izquierdo, en prensa), comparándola con actividades tales como la medicina, la arquitectura y la ingeniería. Esto es, actividades *informadas* por modelos teóricos, pero que no se reducen a ellos.

Cuando hablamos de la didáctica de las ciencias como tecnociencia, nos separamos explícitamente de aquellas concepciones *tecnologistas* tradicionales enraizadas en la pedagogía. No participamos de esta visión *eficientista* que aplica instrumentos tecnológicos de medición. Tenemos más bien una visión de la didáctica de las ciencias en la cual se crean –para hablar, pensar y hacer en el aula de ciencias– instrumentos y lenguajes adecuados a los valores que sostenemos para la educación científica y al modelo de ciencia que detentamos. Estos instrumentos, por ejemplo, incluyen las *bases de orientación* (García y Sanmartí, 1998), los *análogos concretos* (Galagovsky, 1993a, 1993b), los *portafolios* (Duschl, 1995), el *patrón de argumentación* (Jiménez Aleixandre, 1998; Sardà y Sanmartí, 2000), la *matriz de épocas y campos* (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001f).

#### 10.1.1.1.2 La ciencia como actividad contextuada

Recuperamos el modelo de contextos de Echeverría (capítulo 5)

La ciencia actual involucra numerosas actividades bien diferentes, pero estrechamente relacionadas, que permean toda la estructura social. Entre estas actividades se cuentan el desarrollo de aplicaciones tecnológicas, la valoración metateórica del conocimiento, y la propia difusión de la cultura científica (Artigas, 1989; Arsac, 1992; Echeverría, 1995; Izquierdo, en preparación).

El modelo más elaborado de que disponemos hasta el momento para dar cuenta de esta riqueza al interior de la ciencia es el propuesto por Javier Echeverría (1995, 2000, 2001). Como ya dijimos en la primera parte de la tesis, este autor considera cuatro



contextos en la actividad científica: el de *educación*, el de *innovación*, el de *evaluación* y el de *aplicación*.

La visión de la ciencia como actividad multicontextual tiene importantes consecuencias en la explicación del sistema de relaciones que se dan entre la ciencia y la sociedad. Este modelo recupera las tecnologías, las valoraciones y la divulgación científica como elementos susceptibles de un análisis epistemológico. En particular, como ya sugerimos, este modelo afirma la importancia de la educación científica en su calidad de empresa intrínsecamente científica, ricamente conectada con las demás actividades de la ciencia erudita. Con este modelo, por ejemplo, se redimensiona

la función importantísima que tiene la enseñanza de una ciencia (...) en su estructuración teórica y en la ordenación, selección y formación de sus conceptos clave. (Izquierdo, 1990b: 11)

De allí la pertinencia de este modelo teórico para conceptualizar epistemológicamente la didáctica de las ciencias como un estudio específico del contexto de educación. El modelo de contextos permite, por un lado, un análisis muy rico de la diversidad que presenta la actividad didáctica de las ciencias actual (Espinete y Sanmartí, 1998) y, por otro lado, la definición del constructo teórico de *ciencia escolar*. Estas son dos derivaciones del modelo que, juntamente con su poder intrínseco para entender la ciencia, pueden resultar valiosas para los profesores de ciencias.

#### 10.1.1.1.3 La ciencia como actividad dirigida

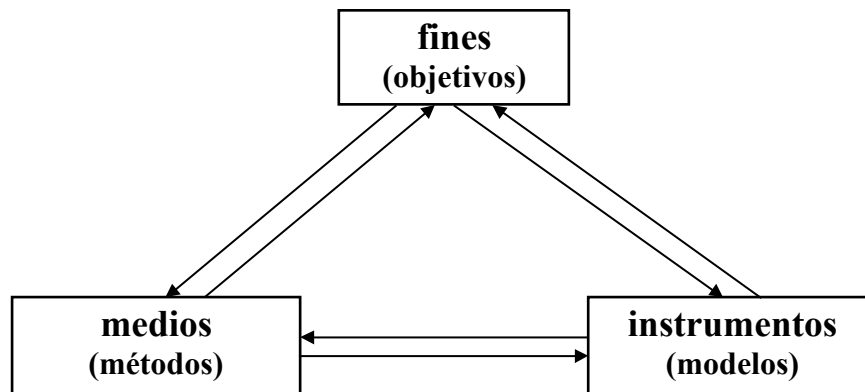
Se define la racionalidad hipotética o instrumental	La ciencia en tanto que actividad social se distingue de otras empresas intelectuales por la importante adecuación racional que exhibe entre <i>medios</i> y <i>finés</i> . Como ella constituye una actividad intrínsecamente <i>epistémica</i> , tiene por meta construir explicaciones que se suponen verdaderas y eficaces sobre la realidad. Y tal actividad de construcción de explicaciones se dice <i>racional</i> en tanto que adecua los medios materiales e intelectuales disponibles a la consecución de su objetivo (Giere,
---	--

1992b). Así resume Izquierdo (1992) esta racionalidad *instrumental* de la ciencia:

The theoretical, “interpretative” explanation is the goal of scientific activity, and scientific development is rational inasmuch as it keeps this goal and aims to reach it. (p. 9)

Se introduce el modelo *reticular* de Laudan

A su vez, medios y fines están adaptados sistémicamente a los instrumentos conceptuales (los *modelos*) que crea la ciencia. Hablamos así de que la ciencia en su conjunto exhibe una *racionalidad reticular* de carácter sistémico (Laudan, 1978; Izquierdo, 1990b, 1992, 1999b; Duschl, 1997). En cada etapa de la historia, por tanto, las tres componentes de la empresa científica (teorías, métodos y objetivos) se regulan entre sí, delineando el contorno de las capacidades tecnocientíficas disponibles (figura 10.3).



**Figura 10.3** La racionalidad reticular (esto es, no jerárquica) de las ciencias.

Podemos usar entonces la metáfora de la *homeostasis* (de perspectiva funcional y sistémica) para modelizar la forma en que la ciencia se sitúa en el sistema social más amplio y regula sus diferentes mecanismos internos con vistas a la consecución eficaz de sus fines:

Una vez especificada (...) cuál es la finalidad de la ciencia (...), la medida en que diversos métodos y normas la sirven no es una opinión subjetiva, sino un hecho objetivo que se puede establecer de un modo práctico. (Chalmers, 1992: 9 y 10)

Este modelo teórico nos permite pensar en la actividad didáctica de las ciencias en términos de su relación con los valores socialmente proclamados para la educación científica, valores que por cierto cambian con el tiempo. En este sentido, el constructivismo didáctico de las ciencias sería, más que una teoría, un marco de ideas (paradigma en sentido amplio) que regula fuertemente la metodología de investigación, los modelos teóricos y tecnológicos, y los problemas y objetivos que sustenta la comunidad de didactas de las ciencias y profesores de ciencias.

Otra aplicación de este modelo a la didáctica de las ciencias viene dada por un intento de definir lo que sería una propuesta de innovación de calidad en nuestra disciplina (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001c): aquella en la cual los registros epistemológico, pedagógico y psicológico que convergen están íntimamente soldados, siendo coherentes entre sí y con los objetivos didácticos que se persiguen y los instrumentos didácticos que se utilizan.

#### 10.1.1.1.4 La ciencia como actividad cognitiva

Se introduce el acercamiento cognitivo al estudio de la ciencia	La <i>producción</i> del conocimiento científico es descrita como la actividad central de la ciencia. En las nuevas visiones, la interacción entre esta producción individual y la validación colectiva es vista como un proceso de dos caras: por un lado, la <i>representación</i> del mundo, en la cual el científico funciona como agente cognoscitivo, y, por otro lado, la <i>selección</i> de las representaciones, en la cual el científico funciona como un agente <i>decisor</i> (Giere, 1992b, 1996, 1999b, 2001).
---	---

El proceso se realiza en el seno de un sistema de relaciones sociales y valores que influyen en las representaciones y en las decisiones individuales. Así lo explica Derek Hodson (1988):

El conocimiento científico es el producto de una actividad social compleja que precede y sigue al acto individual de descubrimiento o creación. (p. 16)

Este proceso complejo da por resultado unas poblaciones conceptuales que evolucionan en el tiempo, y que se agrupan históricamente en *disciplinas* (Toulmin, 1977). Las disciplinas, a su vez, están relacionadas con la aparición de verdaderas corporaciones de especialistas. Ellas constituyen empresas intelectuales que movilizan toda una serie de recursos humanos, materiales y culturales, y que sólo pueden desplegarse en determinados contextos sociopolíticos muy específicos (Kuhn, 1971; Echeverría, 1995).

La actividad cognitiva de la ciencia, en su dimensión individual y en su inserción social, necesita, para ser explicada más ricamente, de una ampliación del concepto de *racionalidad*. En la primera parte de la tesis hablamos de una racionalidad *moderada* (Newton-Smith, 1981; Izquierdo, 1990a, 1990b), partiendo de la base de que la actividad científica *es* paradigmáticamente racional y de que su estudio naturalista echa luz sobre el concepto mismo de racionalidad en la actuación científica (Giere, 1985, 1992b; Izquierdo, 2000a).

Así, el científico toma decisiones racionales no *bayesianas*<sup>195</sup>, influidas y significadas por el contexto más amplio en el que está inmerso. Esto es particularmente pertinente en el caso de la didáctica de las ciencias, en la cual la racionalidad de sus miembros en los procesos de investigación e innovación está condicionada por los valores extrínsecos socialmente impuestos para la educación científica y, al mismo tiempo, *por la propia tradición docente*.

El modelo de racionalidad moderada puede dar cuenta de la <i>práctica</i> del profesorado de ciencias	El modelo de racionalidad moderada es también sugerente para que los profesores de ciencias reflexionen sobre el papel que juegan, en su propia práctica profesional, los modelos didácticos implícitos o explícitos que ellos sustentan. En este sentido, la actividad del profesorado de ciencias en el aula involucra, como
---	--

---

<sup>195</sup> Esto es, que no se corresponden a un cálculo de la probabilidad de un cambio de modelo teórico condicionada a la aparición de nueva evidencia (Giere, 1992b).

señala Philippe Perrenoud (1996), *actuar en la urgencia y decidir en la incertidumbre*.

#### 10.1.1.1.5 La ciencia como actividad valorada

Las visiones contemporáneas introducen el estudio de los valores científicos

La premisa de que la ciencia es una actividad humana influida por, e influyente sobre, el contexto sociocultural general, ha sido incorporada sólo recientemente en el terreno de la epistemología, que, dominada por el positivismo, enfatizaba fuertemente la supuesta objetividad y neutralidad a toda prueba del conocimiento científico (Hodson, 1986, 1988; Chalmers, 1992; Davson-Galle, 1999). Según las visiones epistemológicas contemporáneas, la ciencia, en tanto que creación humana, cultural y discursiva, sólo cobra pleno sentido en el seno del sistema de relaciones sociales en el cual participa activamente (Matthews, 1994b; Izquierdo, 1999b, 2000a). La racionalidad de sus miembros es por tanto *relativa* a dicho sistema.

Juan Samaja (1994) añade a las dos finalidades tradicionales de la actividad científica (el conocimiento en sí mismo y sus consecuencias técnicas) una importante función de “autorregulación de la vida social” (página 22), por la cual la ciencia está implicada profundamente y de diversas maneras en el desarrollo del sistema social amplio del mundo occidental contemporáneo. La aceptación de esta función trascendente pone en el centro de la atención epistemológica los *valores*, tanto epistémicos como generales (o *aléticos*). La ciencia, en tanto que actividad humana, está guiada por valores que se suponen previos a ella, y propios del contexto social y cultural del cual participa (Echeverría, 1995, 2000). La epistemología se amplía entonces para dar cuenta de la *cuestión axiológica*.

El estudio de los valores de la ciencia es además interesante para construir una adecuada visión de su *historia*. Se entiende que los valores que guían una disciplina científica cambian a lo largo del tiempo y, con ellos, lo que se considera o no científico en cada época (Chalmers, 1992; Izquierdo, 1999b, en preparación). En este sentido, la nueva componente axiológica de la epistemología permite completar el modelo reticular de

Laudan (figura 10.3), añadiendo el vértice de los valores, y considerando la posibilidad de que los cambios científicos se inicien en él.

Análisis  
*axiológico*  
de la  
didáctica  
de las ciencias

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

El estudio axiológico de la didáctica de las ciencias echa luz tanto sobre las metas tecnológicas que ella se propone (la más fundamental, mejorar la educación científica), como sobre los recursos teóricos que maneja para alcanzar estas metas. Las componentes prácticas y teóricas de la disciplina están conectadas a los valores epistémicos y sociales que la generan.

En un nivel general, la pedagogía no puede separarse *conceptualmente* de los valores y fines que sustentan la educación (Carr, 1988):

El problema de los fines educativos, a pesar de las dificultades que su tratamiento filosófico plantea, sigue siendo una cuestión de primer orden, problema de la finalidad que legitima la práctica educativa, que no puede marginarse de la teoría y que da al proceso educativo unidad, sentido racional y funcionalidad. (González Sánchez, 1988: 188)

Análogamente, los valores particulares de la educación científica están en la base misma de la didáctica de las ciencias actual. Estos valores son un producto cultural que ha cambiado en el tiempo, dictando en cada momento lo que se consideraban los fines deseables para la alfabetización científica de la población:

At different times different purposes for science education come into favour. (Fensham, Gunstone y White, 1994: 1)

La didáctica de las ciencias, en su impresionante desarrollo académico, se apoya entonces en valores que parecen indiscutibles, pero que son de constitución histórica reciente. Entre estos valores, destaca por su lugar nuclear la valoración *positiva* de la ciencia y de la tecnología (Echeverría, 1995; Matthews, 2000) como instrumentos que fomentan el desarrollo individual y colectivo, la mayor libertad en un sistema democrático y la mejor inserción social de los ciudadanos. Se presenta

a picture of more science education, along with more science and technology, as being unquestionably good things for societies to have. (Fensham, 1988: 3)

Los valores  
en la  
didáctica  
de las ciencias  
actual

Debemos recordar, sin embargo, que tales valores pueden ser objeto de discusión y de polémica<sup>196</sup>, y que, en tal sentido, el posicionamiento *teórico* de la didáctica de las ciencias no es para nada neutral ni ingenuo. Este posicionamiento está sustentado en una particular configuración política, social, económica y cultural que se ha dado en el mundo occidental y desarrollado en la segunda mitad del siglo XX.

Los valores que la didáctica de las ciencias detenta aparecen en un entrelazo de los diferentes sectores sociales implicados en relación con la ciencia. En este sentido, el currículo de ciencias representa un intento de equilibrio entre las diversas demandas sociales impuestas sobre la educación científica, pero no puede responder igualmente bien a todas ellas (Fensham, 1988). La didáctica de las ciencias toma postura, por tanto, favoreciendo algunas y postergando otras.

Es importante destacar también, como lo hace Neus Sanmartí (1995), que, a nivel de los valores implicados, la interacción entre *qué* ciencia enseñar y *por qué* enseñar ciencias en la escuela es muy fuerte. Consecuentemente, ambas preguntas merecen atención teórica coordinada, y ninguna es previa a la otra. Esta reflexión es también relevante en

---

<sup>196</sup> Una crítica particularmente lúcida de estos valores es la que hace Bryan Chapman (1994).

el caso de la enseñanza de la epistemología para la educación científica: enseñamos epistemología principalmente porque esta es valiosa para enriquecer la propia enseñanza de las ciencias.

En esta línea de pensamiento, la *democratización* de la enseñanza de las ciencias puede ser vista como el valor subyacente a la constitución de la didáctica de las ciencias como disciplina científica (Adúriz-Bravo, en prensa-a, en prensa-e). Otro valor central del contexto de educación, que consecuentemente es capaz de organizar conceptualmente la didáctica de las ciencias, es el de la *normatividad* dirigida a la perpetuación (Echeverría, 1995). La ciencia busca difundirse y desarrollarse creando mecanismos por los cuales se pone a salvo de los cuestionamientos tempranos. Se presenta así retóricamente como un conocimiento que no es criticable hasta tanto uno no forma parte de la comunidad científica (sea esta la erudita o la escolar).

La *normatividad* en las ciencias La normatividad de los textos científicos aparece ya como una necesidad en Aristóteles (Artigas, 1989), y es desarrollada extensamente por Thomas Kuhn (1971). Varios autores coinciden en señalar que una exposición más bien dogmática y ahistórica de la ciencia en sus textos favorece su difusión, a través de la institucionalización incuestionable del conocimiento científico (Izquierdo, 2000c, en prensa-a):

La institucionalización en la enseñanza tiene una consecuencia de gran interés: que los conocimientos suelen exponerse de modo atemporal, como verdades establecidas, prescindiendo del contexto en el que han surgido y se han desarrollado o limitándolo, en todo caso, a referencias históricas aisladas. (Artigas, 1989: 8)

Como afirman Slezak (1994) e Izquierdo y otros (1995), la normatividad en la enseñanza de las ciencias, aunque necesaria hasta cierto punto, puede ser matizada en un marco de ideas constructivista. En este marco se resuelve en parte la *tensión* inherente a la educación científica, que se da entre los polos de la construcción individual de conocimiento y de la iniciación del estudiantado en una cultura científica preexistente. El constructivismo didáctico aparece así como un marco teórico capaz de conjugar el respeto por la diversidad e individualidad, valor sostenido en el ámbito de



ideas postmoderno, con la necesidad de imponer a las jóvenes generaciones el acervo cultural socialmente sancionado como valioso.

#### 10.1.1.1.6 La ciencia como actividad autocorrectiva

En el modelo de contextos científicos de Echeverría (1995, 2000, 2001), la valoración del conocimiento científico queda ubicada *dentro* de la propia ciencia. Esta valoración, entendida como la emisión de juicios sobre los enunciados científicos, asume diferentes facetas: por un lado, se revisa la adecuación del conocimiento científico a la realidad y su pertinencia para constituir una explicación sobre el mundo; por otro lado, se juzgan las derivaciones operativas y tecnológicas de tales explicaciones; además, se emiten apreciaciones acerca de la relación del conocimiento científico con la cultura y la sociedad, incluidas afirmaciones de carácter *didáctico*; y por último, se realizan evaluaciones éticas sobre la ciencia y sus logros.

Se introduce el modelo intersubjetivo de Popper	La ciencia, por lo tanto, aúna en sí misma componentes discursivas y metadiscursivas; es una forma de pensamiento autorrecurrente, que se vuelca sobre sí mismo (Mosterín, 1982; Moulines, 1982; Estany, 1993; Rosenberg, 2000). La constante revisión interna de su funcionamiento le permite regularse más eficazmente, siendo productora de saberes y al mismo tiempo crítica de sus producciones. Tal capacidad crítica garantiza una forma de objetividad entendida como <i>intersubjetividad</i> (Popper, 1981, 1994). La objetividad se apoya en la naturaleza escrita, pública y enseñable del conocimiento científico.
---	---

La naturaleza recursiva del conocimiento científico es un modelo importante para explicar el hecho de que, a lo largo de toda la historia, las afirmaciones metateóricas (epistemológicas, históricas y didácticas) conviven con las propias afirmaciones teóricas al interior de las ciencias (Piaget, 1970, 1972). En este sentido, la actividad metacientífica ha sido fundamentalmente llevada a cabo por científicos.

La didáctica de las ciencias como disciplina metacientífica Este modelo de ciencia como actividad recursiva nos permite hasta cierto punto dar cuenta del singular carácter epistemológico de la didáctica de las ciencias. Podemos modelizar nuestro campo como una *disciplina de carácter metacientífico*, originada en la capacidad recursiva de la propia ciencia (Adúriz-Bravo, 1999b, 2000e), cuando esta capacidad se concentra en la problemática de la difusión.

Por una parte, la existencia de la didáctica de las ciencias está apoyada en la naturaleza metadiscursiva de la didáctica general. Esta disciplina, al igual que las restantes ciencias sociales, al tomar como objeto de estudio los discursos y actividades de la ciencia relativos a su enseñanza, se posiciona en un segundo orden de conceptualización.

Por otra parte, las mismas ciencias naturales, en tanto que también son recursivas, se revisan desde un segundo nivel de teorización con diversas perspectivas; la perspectiva *didáctica* es una de ellas. Esto sucede en su *cinturón metateórico* (Adúriz-Bravo, 1999b) o en su contexto de evaluación. Pero esta revisión a menudo se hace muy compleja y específica, y demanda la atención de algunos miembros en particular:

La reflexión sobre qué es la ciencia se ha hecho tan compleja que pocos científicos la conocen y se interesan por ella (...). (Izquierdo, 2000a: 38)

Esto lleva a la especialización metacientífica (en nuestro caso, *didáctica*) de algunos de los propios científicos naturales.

En tercer lugar, las restantes disciplinas sociales (particularmente la psicología, la sociología y la lingüística) estudian a veces fenómenos y objetos similares a los de la didáctica de las ciencias, y se mantienen muy cercanas a ella. Esto permite que entre ellas se den importantes intercambios teóricos. Y, por último, los propios implicados en la educación científica (principalmente, el profesorado de ciencias y los decisores curriculares) revisan críticamente su actividad en diversos momentos históricos en los cuales perciben que ella se separa de las demandas de la sociedad.

Así, la singular naturaleza epistemológica de la didáctica de las ciencias proviene del hecho de configurarse como un discurso y una actividad que predicen y operan sobre otros discursos y actividades (los de la educación científica). Este *metadiscurso* y esta *meta-actividad* didácticas toman entidad en la confluencia de recursiones de cuatro campos complementarios:

1. la *didáctica general*, al aplicarse a las ciencias naturales como contenido,
2. las *ciencias naturales*, al revisarse metadiscursivamente a sí mismas,
3. las *disciplinas científicas sociales*, al tomar como objeto de estudio el funcionamiento de estas ciencias en la escuela, y
4. la propia *actividad de educación científica*, que se autoanaliza críticamente<sup>197</sup>.

#### 10.1.1.2 La ciencia como conocimiento

Se recupera la tradición del análisis de los contenidos de la ciencia (capítulo 5), a través de cinco modelos	La actividad cognitiva de los científicos resulta en una serie de <i>representaciones</i> abstractas capaces de dar sentido a la realidad y transformarla. Estos modelos del mundo se ponen en juego en <i>explicaciones</i> expresadas por medio de afirmaciones de carácter teórico y práctico sobre la realidad (Gaeta et al., 1996). Las afirmaciones se plasman finalmente en un discurso escrito, susceptible de análisis lingüístico, que constituye un producto objetivado bien identificable (Matthews, 1994b).
---	--

Es decir que los contenidos de la ciencia pueden ser considerados primeramente *representaciones* sobre el mundo que pretenden referirse verdaderamente a él y darle sentido (esto es, explicarlo). Estas representaciones son las que están caracterizadas (*definidas*) por medio de los diversos usos que la ciencia hace del lenguaje natural. La ciencia, como producto cultural accesible y enseñable, es conocimiento formulado lingüísticamente. En este párrafo nos ocuparemos de los aspectos sintácticos y semánticos del conocimiento científico<sup>198</sup>.

---

<sup>197</sup> Es en este último campo en el cual los profesores de ciencias tienen un rol protagónico.

<sup>198</sup> La *pragmática*, esto es, el análisis de la forma en que este conocimiento se pone en acción para referir al mundo real, se analiza en el párrafo siguiente, que corresponde a la ciencia

Dedicaremos sendos subpárrafos a los cinco modelos epistemológicos siguientes:

1. la *concepción explicativa* del conocimiento, por la cual la ciencia es vista como una empresa que principalmente busca *dar sentido*,
2. la *concepción basada en modelos*, que considera estas entidades como la unidad estructural y funcional de la ciencia,
3. la *concepción estructuralista*, que atiende a la forma en que los modelos teóricos están ligados entre sí,
4. un *modelo fluido* de organización de la episteme, que incluye la idea teórica de *conceptor*, y
5. un modelo de cambio científico basado en las ideas de *acreción y cambio de Gestalt* (o cambio en bloque).

Los dos primeros modelos nos parecen particularmente relevantes para la formación del profesorado de ciencias, no ya en su componente epistemológica, de la que nos estamos ocupando aquí, sino también en la componente didáctica específica propiamente dicha. Son modelos que dicen mucho sobre la naturaleza de la *actividad científica escolar*: una actividad explicativa y argumentativa, basada en modelos teóricos escolares (Izquierdo, Espinet et al., 1999; Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999).

#### 10.1.1.2.1 La ciencia como conocimiento explicativo

Se distingue entre *descripción*, *prescripción* y *explicación*

Una distinción epistemológica tradicional es aquella entre *descripción* y *prescripción*. Sin embargo, como bien señala Ulises Moulines (1982, 1991), el conocimiento científico no se acomoda a ninguna de estas dos categorías: es *explicativo*. Las teorías científicas son aparatos conceptuales diseñados específicamente para *dar sentido* a la realidad pretendiendo representarla de alguna manera. Lo que diferencia a las ciencias de otras actividades es, pues,

---

como discurso.

l'ús de models teòrics elaborats amb l'objectiu de comprendre el funcionament del món, d'explicar els fenòmens que succeeixen. (Izquierdo y Sanmartí, 1998: 211)

La actividad cognitiva del científico resulta en patrones de explicación del mundo que luego son seleccionados racionalmente por la comunidad de la cual forma parte. Estos patrones constituyen explicaciones *contextuales*, pragmáticamente dirigidas a la solución de problemas cognitivos concretos en el ámbito científico y tecnológico, más que exposiciones de verdades inmutables sobre la realidad ontológica, ocultas para ser descubiertas. En este sentido, en la empresa científica

no se trata de comunicar la “verdad sobre el mundo” sino de aumentar la comprensión de la realidad. (Izquierdo, 1990b: 17)

A su vez, las explicaciones científicas, mediadas por modelos, son dirigidas a la intervención en algún nivel de la representación o de la realidad; en este sentido, el conocimiento científico tiene fines fuertemente *operatorios* (Samaja, 1994). Es su naturaleza teórica la que le da el poder sobre la realidad, permitiéndole alcanzar más eficazmente estos fines. En palabras de Izquierdo (1990b):

El uso de modelos teóricos es fundamental para el dominio de la realidad natural y técnica. (p. 73)

La didáctica de las ciencias explica la educación científica

En este sentido, puede decirse que la didáctica de las ciencias constituye un conjunto teórico de explicaciones sobre el funcionamiento de la educación científica, potencialmente capaces de intervenir sobre ella para mejorarla. Estas explicaciones están ancladas en modelos didácticos, esto es, *modelos teóricos de la didáctica de las ciencias* (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001a, 2001c).

Esta afirmación es importante para escapar de una tendencia a la creación de *pseudocategorías*<sup>199</sup>, que los didactas de las ciencias hemos heredado de la pedagogía

---

<sup>199</sup> Esto es, categorías “vacías” que no explican nada.

(Jiménez Aleixandre, comunicación privada). No se trata de evitar la teorización en nuestra disciplina, sino de intentar asegurarse de que los elementos teóricos sean creados en función de explicar lo más eficazmente posible la problemática de la educación científica.

#### 10.1.1.2.2 La ciencia como conocimiento modelizador

Se recuperan el enfoque semántico y la concepción basada en modelos (capítulo 5) Los modelos de ciencia más actuales enfatizan el carácter *representacional* del conocimiento científico, dejando un poco de lado sus aspectos formales, que quedan por tanto relativizados. Así, estos modelos epistemológicos son capaces de relacionar la representación de naturaleza científica con otro tipo de representaciones humanas de la realidad, explorando sus semejanzas y diferencias (Giere, 1992a, 1992b; Nersessian, 1989, 1992). En coherencia con estos modelos, realizaremos nuestra descripción de las teorías científicas a través de un estudio *semántico* de estas, siguiendo para ello a Ronald Giere (1992b), Paul Kitcher (1993) y Fred Suppe (1989, 2000); luego haremos unas breves consideraciones acerca de su sintáctica.

En el enfoque semántico, la unidad de análisis fundamental es el *modelo*. Un modelo científico es una entidad no lingüística abstracta caracterizada a través de una serie de enunciados lingüísticos, que son de variadas clases: leyes, principios, definiciones, ecuaciones, analogías, metáforas. Estos enunciados son trivialmente verdaderos en el modelo, en el sentido de que este se define como la *entidad que satisface todos y cada uno de ellos*. Por tanto, la verdad semántica, enunciativa, es una característica *estructural* intrínseca de los modelos, poco interesante para dar cuenta de su pragmática.

Los modelos son de por sí entidades inexistentes en la realidad. Constituyen representaciones teóricas de los sistemas, que también en sí mismos son representaciones (simplificadas e idealizadas). Esta capacidad de la ciencia de predicar sobre una realidad que no existe como tal es vista por muchos epistemólogos como uno de los grandes logros de la empresa científica (Bachelard, 1938; Artigas, 1989; Matthews, 1994a, 1994b; Klimovsky, 1994). En efecto,

hay una diferencia entre los objetos reales del mundo y los objetos teóricos de la ciencia. (...) Los primeros entran en la ciencia cuando se los representa en términos de los segundos. Una vez así preparados, y dentro del sistema, se puede operar sobre ellos con el aparato conceptual de la ciencia. (Matthews, 1994a: 264)

Se introduce el concepto de *hipótesis teórica*

Los modelos teóricos, a su vez, se conectan a la realidad empírica a través de un conjunto de relaciones de semejanza, expresadas lingüísticamente en enunciados que Giere (1992b) ha llamado *hipótesis teóricas*. Las hipótesis teóricas exponen el *grado de adecuación* de cada modelo al sistema para el cual se plantea la analogía representacional; este grado de adecuación nunca es completo, sino que se selecciona en función de la precisión, el nivel de análisis y el ámbito de aplicación que se deseen. Por lo tanto, los modelos constituyen explicaciones *pragmáticas* de tipo analógico sobre la realidad, en ningún caso representaciones pictóricas directas de la misma.

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

Resumidamente:

Les teories científiques són famílies de models teòrics ‘similars a la realitat’ connectades amb els fenòmens mitjançant hipòtesis teòriques, que són les afirmacions que es poden comprovar. (Izquierdo y Sanmartí, 1998: 211)

El *modelo teórico* es la unidad estructural y funcional de la didáctica de las ciencias como disciplina

Esta concepción basada en modelos es particularmente sugerente para entender el funcionamiento de la didáctica de las ciencias. Tradicionalmente, se habría negado a este campo su estatuto científico por la ausencia de teorías generales. Sin

embargo, podemos considerar que la didáctica de las ciencias es una disciplina por derecho propio si reconocemos la existencia de una cantidad de modelos teóricos específicos. Estos modelos están *coalesciendo* en familias temáticas, a modo de primeros intentos de teorías didácticas de las ciencias.

La concepción basada en modelos permite también sustentar nuestra aproximación al problema de la *selección* de la epistemología a enseñar<sup>200</sup>. Esta concepción epistemológica proporciona una gran versatilidad en la selección y adaptación de los modelos epistemológicos eruditos, incluso si los fundamentos filosóficos de estos se contradicen en parte.

#### 10.1.1.2.3 La ciencia como conocimiento teórico

La teoría como familia de modelos

Los diferentes modelos que comparten un ámbito de aplicación están a menudo vinculados mutuamente por una relación de *parecidos de familia*. Tal relación se explicita a través de la aparición de conceptos comunes a varios de estos modelos, conceptos a los que se supone homólogos entre sí, esto es, referidos a la misma realidad<sup>201</sup>. La descripción lingüística de cada uno de estos vínculos conceptuales resulta en una *ligadura intermodélica*.

El conjunto de modelos y sus ligaduras, junto con los sistemas y las hipótesis vinculantes a la realidad, constituye entonces la genuina *teoría científica* (figura 10.4):

Los diferentes modelos de la teoría están interconectados entre sí formando una estructura global, mediante condiciones de “ligadura” (...) que aseguran que un mismo “individuo”

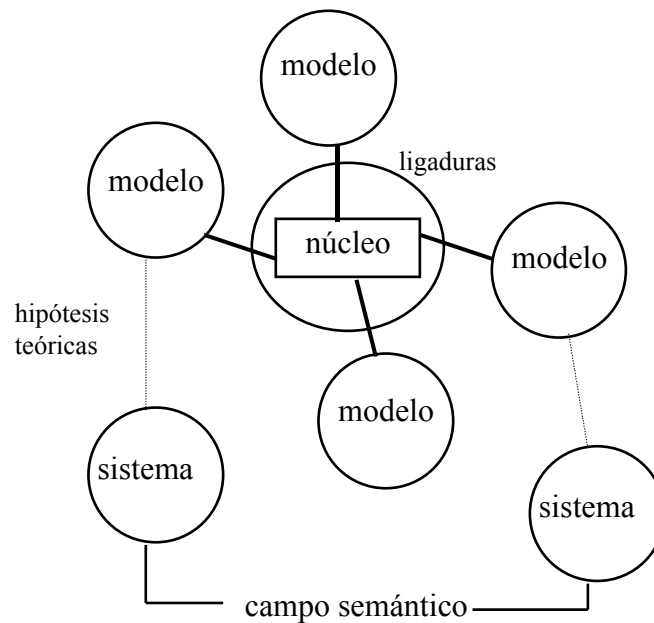
---

<sup>200</sup> Estamos hablando tanto de la selección que hacemos nosotros para la formación del profesorado de ciencias, como de la selección que hacen los propios profesores de ciencias para la educación científica.

<sup>201</sup> Estos conceptos mantienen “fijas” ciertas ideas teóricas y empíricas, tanto en forma sincrónica (*intermodélica*) como en forma diacrónica (*interparadigmática*).



pueda aparecer en modelos distintos con las mismas características. (Izquierdo, 1990b: 28-29)



**Figura 10.4** Las teorías son familias de modelos conectados entre sí por ligaduras y referidos a los sistemas mediante hipótesis teóricas. La caracterización lingüística de la familia constituye el núcleo teórico; el conjunto de sistemas de referencia, su campo semántico.

Las teorías pueden ser consideradas como constituidas por un núcleo y un campo semántico. El *núcleo* contiene la caracterización lingüística de los modelos y de las ligaduras que se establecen entre ellos; su *campo semántico* (o *dominio*) está determinado por las aplicaciones de los diferentes modelos a la realidad:

The set of event types that a theory explains is called its domain. (Machamer, 1998: 5)

Estas aplicaciones a su vez involucran transformaciones conceptuales, discursivas y materiales sobre dicha realidad. Por tanto, la teoría contiene también un *saber hacer* no lingüístico adecuado a la acción tecnocientífica (Izquierdo, 1999b, 2000a).

Esta visión que conecta íntimamente la caracterización lingüística de los modelos con el ámbito de sus referencias empíricas proporciona el puente unificador entre las

concepciones estructuralista, semántica y cognitiva en la epistemología. Esta unificación se da a través del concepto de *predicado conjuntista*, pues este,

al determinar la clase de los modelos que lo satisfacen, caracteriza extensionalmente la teoría en función de dicha clase de modelos. (Estany, 1993: 85)

De esta manera, afirmaciones estructuralistas como la siguiente:

Las aplicaciones empíricas de una teoría forman parte esencial del concepto mismo de la teoría. La estructura teórica y sus aplicaciones están conceptualmente ligadas de manera estrecha. (Moulines, 1982: 76)

pueden ser resignificadas dentro de las visiones semántica y cognitiva, en las que se sostiene que lo central en las teorías

no es su estructura formal, sino que permiten interpretar conjuntos de fenómenos. (Izquierdo, 2000a: 40)

Desde el punto de vista semántico, las teorías son *familias de modelos* aplicados a la realidad para estructurarla conceptualmente. Estas familias se caracterizan, sintácticamente hablando, a través de enunciados que definen y agrupan los modelos y describen las ligaduras entre ellos. Así tenemos brevemente expresada la visión teórica de la relación entre las representaciones científicas y el conocimiento científico<sup>202</sup> a la que adherimos.

El campo semántico de una teoría es dinámico: está en continua expansión por acreción desde que se proponen los primeros modelos paradigmáticos hasta que la teoría es desplazada definitivamente en un cambio de Gestalt. Así, la teoría es un conjunto abierto, no determinado, de modelos que va enriqueciendo su referencia a medida que es puesta en acción. En palabras de Izquierdo (1990b):

La realidad a la cual se aplica la teoría la va llenando progresivamente de sentido. (p. 28)

Dado que la teoría es una familia de entidades no lingüísticas, lo esencial en ella es la *relevancia semántica* (Achinstein, 1968) que tiene para conectar con la realidad. Y en tanto que los modelos que forman parte de la teoría están caracterizados lingüísticamente, la teoría funciona como un poderoso *organizador conceptual* del mundo de fenómenos.

Ahora bien, el núcleo lingüístico de una teoría es, como se dijo, susceptible de un análisis sintáctico:

Las teorías son entidades extralingüísticas que se pueden describir por medio de sus formulaciones lingüísticas. Las proposiciones que aparecen en la formulación de una teoría ofrecen, pues, descripciones verdaderas de la misma y, de este modo, la teoría es como un modelo de cada una de sus formulaciones. (Suppe, 1979: 356)

Se introduce el análisis estructural de las teorías científicas

Para este análisis sintáctico, creemos que los mejores aparatos conceptuales disponibles son los que ha producido el enfoque estructuralista<sup>203</sup>. En este enfoque se descarta la presentación *axiomática* de las teorías, por considerarse difícil y poco interesante (Giere, 1992b; Suppe, 2000). Por una parte, las teorías no se utilizan en la ciencia en sus versiones axiomatizadas, que más bien constituyen reconstrucciones racionales para el análisis epistemológico. Por otra parte, la axiomatización completa y fructífera no es posible más que en el caso de unas pocas teorías de las disciplinas naturales más formalmente desarrolladas.

La caracterización de las teorías no se hace entonces a través de sistemas formales clásicos (axiomáticos), sino por medio de la lógica de conjuntos. Se busca la enunciación de las proposiciones que definen los modelos teóricos, y la *ostensión* y la descripción de las ligaduras entre ellos. El enfoque general es *holista* (Moulines, 1991) y *pragmático*; supone que los términos con los cuales se realiza la caracterización sólo toman sentido en la estructura de conjunto de la teoría:

---

<sup>202</sup> Esto es lo que en el capítulo 5 llamamos *modelo de correspondencia*.

El modelo teórico da sentido a todo un conjunto de conceptos que están estrechamente relacionados entre sí, de manera que sus significados son dependientes. (Izquierdo, 1990b: 128)

Y supone además que los términos extralógicos utilizados son alternativamente *teóricos* o *no-teóricos*<sup>204</sup> según su participación en las diferentes teorías.

De entre estos términos, se admite que los de más bajo nivel (los más asentados en la realidad empírica) refieren a entidades del mundo que no cambian con los cambios de representación (Klimovsky, 1994). Así, en oposición a la *inconmensurabilidad* nómica kuhniana<sup>205</sup>, las teorías resultan parcialmente comparables entre sí a través de los conceptos cuya referencia empírica permanece inalterada aunque se reemplace el conjunto de elementos T-teóricos.

El concepto introducido de *ligadura*, por su parte, tiene dos funciones adicionales: proporciona el anclaje de las familias de modelos a la realidad, y permite distinguir entre tipos de familias de acuerdo a su madurez. Lo primero, porque establece conexiones fuertes entre los distintos modelos, que en sí mismos están firmemente asentados en la realidad a través de las hipótesis teóricas, posibilitando la *convergencia* de las distintas representaciones sobre los mismos fenómenos, pragmáticamente enfocadas a aspectos parciales. Esta convergencia es una herramienta poderosa para alimentar la pretensión de los modelos de referir a la realidad externa, más que de constituir instrumentos aislados de agrupación fenomenológica o experiencial<sup>206</sup>.

Lo segundo, porque permite una gradación continua entre las teorías más propiamente dichas de las disciplinas maduras, cuyos modelos aparecen ricamente caracterizados y densamente ligados, y los *grupos teóricos* de modelos en las disciplinas más jóvenes,

---

<sup>203</sup> Expuesto en Stegmüller (1979) y Moulines (1982, 1991).

<sup>204</sup> Se echa por tierra así la distinción clásica entre términos *teóricos* y *observacionales* (van Fraassen, 1980).

<sup>205</sup> Ver Kuhn (1971), explicado en Echeverría (1995).

<sup>206</sup> Este es el modelo de correspondencia realista pragmático al que adherimos en la primera parte de la tesis.

que a menudo están conectados temáticamente y analógicamente en forma vaga, con ligaduras más débiles y difusas.

En coherencia con esta concepción epistemológica de naturaleza semántica, y siguiendo a otros autores que han realizado planteamientos similares<sup>207</sup>, consideramos que los *modelos didácticos*

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

Las disciplinas jóvenes se conforman a partir de una serie de modelos a menudo importados y adaptados de otras disciplinas, lo que hace difícil marcar en sus inicios los límites epistemológicos. Esto podría estar sucediendo actualmente en la didáctica de las ciencias:

The character of “emerging discipline” of the didactics of science determines specific difficulties at the moment of defining the theoretical models that it uses as a reference. (Izquierdo, 1992: 1)

En efecto, podemos afirmar que durante muchos años la didáctica de las ciencias se ha nutrido de modelos originalmente psicológicos y epistemológicos, ya sea para adaptarlos a la situación didáctica particular, para tomarlos como base de una *analogía*, o para integrarlos en modelos propiamente didácticos de las ciencias (Adúriz-Bravo, 1999b; Espinete, 1999; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001a; Estany e Izquierdo, en prensa).

Sin embargo, es comúnmente aceptado por los miembros de la comunidad de didactas de las ciencias que la disciplina posee ya numerosos modelos específicos que trascienden los aportados por las otras ciencias (llamadas a veces *auxiliares*); en este sentido, se trata de modelos *propios* de la didáctica de las ciencias. Estos modelos, a su vez, se reconocen como agrupados en familias temáticas fuertes que constituyen verdaderas líneas de investigación:

---

<sup>207</sup> Por ejemplo: Izquierdo (1990b, 1999b); Espinete (1999).

La Didáctica de las Ciencias se encuentra actualmente en un proceso de construcción teórica importante. (Espinete, 1999: 17)

La línea de las concepciones alternativas es una familia de modelos teóricos de la didáctica de las ciencias	Una de estas familias, muy relevante por la cantidad de modelos que despliega y por la forma crecientemente más sólida en que estos se están conectando, es la que ha evolucionado desde las <i>concepciones alternativas (misconceptions)</i> hacia el cambio conceptual y los modelos mentales (Marín, 1999; Soto y Sanjosé, 2001).
---	---

Pero hay también consenso acerca de que estas familias de modelos aún no se encuentran estructuradas completamente alrededor de núcleos teóricos compactos. En otras palabras, diversos autores afirman que todavía no disponemos de genuinas *teorías didácticas de las ciencias*. Tal como lo expresa Carcavilla (1990):

El proceso de enseñanza de cualquier materia es muy complejo, por la cantidad de factores que le influyen (...). Actualmente no existe ninguna teoría de la educación suficientemente completa, potente y predictiva en la que se integren adecuadamente todos ellos. Sin embargo sí que se aceptan algunos principios que sugieren rasgos generales que debe tener la actividad didáctica. (p. 115)

Como afirma Juan Godino (1991) para el caso de la didáctica de la matemática, lo que hay son

diversas teorías parciales, inconexas, y más o menos dependientes de otras teorías generales. (p. 109)

y esto mismo se percibe en el interior de nuestra disciplina.

Ya hace más de diez años, Mercè Izquierdo (1990b) detectó esta situación atórica de la didáctica de las ciencias, y la modelizó con una adaptación propia del aparato metateórico estructuralista. Izquierdo (1990b, 1999b) reconoció los modelos didácticos de las ciencias ligados, a partir de los cuales más adelante habrá de constituirse la teoría:

La teoría didáctica futura deberá tener por modelos todos los “modelos didácticos”.  
(Izquierdo, 1990b: 110)

La teoría curricular como un inicio de teoría didáctica de las ciencias Propuso entonces la *teoría curricular*, proveniente de la didáctica general, convenientemente enriquecida y especificada, como candidata a constituir el unificador teórico de estos diferentes modelos didácticos:

Aceptamos, al menos como hipótesis de trabajo, que, por más que no existe una teoría didáctica unificada, las actuales aportaciones de la teoría curricular son las que más nos aproximan a ella. (p. 19)<sup>208</sup>

La misma Izquierdo, en trabajos posteriores<sup>209</sup>, desarrolla su visión en la cual el *metamodelo* curricular vertebró los aportes de otras disciplinas en una genuina perspectiva didáctica, tendiendo a constituir un inicio de teoría en la didáctica de las ciencias. Este núcleo teórico alrededor del cual se organizan los diferentes modelos es lo que ella identifica como el *constructivismo* didáctico de las ciencias:

It will be possible to establish relations between the concepts of the different models, because all of them will be specifications of a “constructivist” theoretical nucleus.  
(Izquierdo, 1992: 2)

Nuestro modelo formal de la estructura de coherencia de la didáctica de las ciencias retoma en gran parte la propuesta desarrollada por Izquierdo<sup>210</sup>. Sin embargo, marcamos tres diferencias generales. La primera es que, una década después de este primer modelo propuesto por ella, es posible identificar núcleos teóricos más fuertes en la didáctica de las ciencias, al punto de que hoy contamos con “cuasiteorías” (lo que hemos llamado *grupos teóricos*) más amplias y coherentes que las que había entonces.

---

<sup>208</sup> Para Gaston Mialaret (1981, 1985) también es posible la identificación parcial entre la teoría didáctica y la teoría curricular, centrada en qué, a quién, por qué y cómo enseñar, y en la evaluación y los resultados que se obtienen.

<sup>209</sup> Izquierdo (1990b, 1992, 1999b); Izquierdo, Espinet et al. (1999); Izquierdo y Adúriz-Bravo (2001); Estany e Izquierdo (en prensa).

<sup>210</sup> Seguimos también la reconstrucción que hace Mariona Espinet (1999).

En este sentido, acordamos más con Espinet (1999) cuando afirma que

la Didáctica de las Ciencias posee actualmente grupos de modelos didácticos desarrollados y se encuentra en un momento de búsqueda de aquellos conceptos y sus relaciones que podrían unificarlos. (p. 18)

Referimos al modelo *estructural* de la didáctica de las ciencias que se presenta en el capítulo 11

La segunda diferencia es que consideramos que la teoría curricular es sólo una de las futuras teorías didácticas. La diversidad de modelos actuales hace plausible vislumbrar varias teorías de las cuales algunos de los modelos (pero no todos) caerán dentro de la disciplina. Podemos pensar en teorías alrededor de la actividad, alrededor de la naturaleza del saber, alrededor de la cognición, alrededor de la enseñanza, que tendrán algunos modelos dentro de la didáctica de las ciencias y otros en otras disciplinas.

La tercera diferencia que planteamos es la de considerar el *constructivismo* más bien como un marco unificador de las diferentes teorías didácticas, situado en un nivel taxonómico superior (Adúriz-Bravo, 1999a).

De alguna forma, si tomamos el *currículo* en sentido amplio, podemos dar la razón al enfoque que asimila la perspectiva curricular y la didáctica específica; pero en este sentido amplio, usamos el término para referir a un *conjunto de teorías* (por constituirse) sobre el saber, sus transformaciones y sus actores (que son las que conforman el marco constructivista didáctico). Ahora bien, si tomamos el *currículo* en un sentido más restrictivo, la teoría curricular resulta sólo una de las posibles teorías didácticas, la que informa acerca de cómo se *prescribe*, a través de la normativa, la articulación de los diferentes elementos en el conjunto o sistema didáctico.



Un grupo teórico nuclear en la didáctica de las ciencias es el que postula un paralelismo entre *ontogénesis* y *filogénesis*. Antes hemos mencionado que una posible caracterización de las teorías es según su cercanía al núcleo disciplinar: las hay nucleares, periféricas<sup>211</sup> y marginales. La didáctica de las ciencias exhibe como grupos teóricos nucleares aquellos relacionados con la suposición de que *la ontogénesis replica en parte la filogénesis* (Izquierdo, 1998c)<sup>212</sup>. En tanto que nucleares, estos grupos se caracterizan por no tener rivales, tomarse como indiscutibles, y guiar el grueso de la investigación (Soto y Sanjosé, 2001).

Entre los grupos periféricos podemos mencionar aquellos que otorgan diferentes papeles a la *experimentación científica escolar*. Como estas líneas están basadas en marcos epistemológicos y psicológicos diversos, existen actualmente varios grupos en competencia teórica, más o menos aceptados por diferentes secciones de la comunidad de investigadores en didáctica de las ciencias.

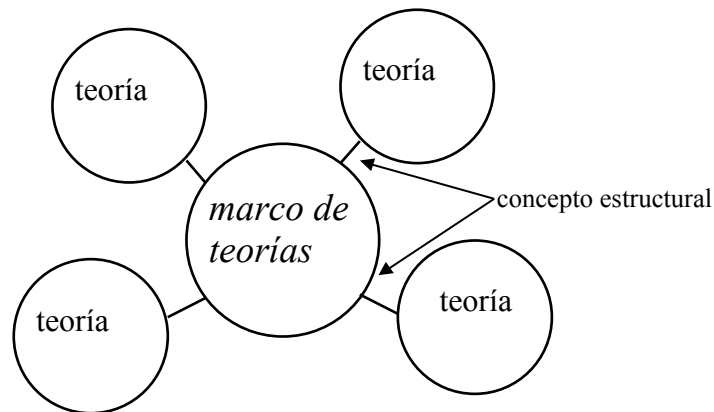
#### 10.1.1.2.4 La ciencia como conocimiento estructurado

Se definen los marcos de teorías Las familias de modelos (teorías o grupos teóricos, según la riqueza de su caracterización), pueden agruparse a su vez en mesoestructuras a las que comúnmente llamamos *disciplinas*, *especialidades* o *marcos teóricos*, y que constituyen verdaderas *clases* (familias de familias) de modelos (figura 10.5). Así lo explica Moulines (1982):

Las teorías individuales pueden reunirse de acuerdo a criterios lógicos, metodológicos y semánticos, constituyendo así familias de teorías. (...) La constitución de marcos de teorías a partir de teorías individuales está relacionada de forma natural con el problema de identificar las relaciones interteóricas. (p. 59)

<sup>211</sup> Richard Duschl (1997) habla de teorías *fronterizas*.

<sup>212</sup> Un modelo de este grupo teórico, dentro de la didáctica de la química, es el que toma el concepto histórico de *flogisto* para explicar el pensamiento del sentido común actual acerca de la combustión.



**Figura 10.5** Las teorías se agrupan ligándose entre sí para constituir marcos, a través de conceptos estructurales que aparecen en todas ellas.

Según este esquema, para explicar más detalladamente la forma en que las diferentes familias se agrupan en clases, necesitamos introducir un tipo especial de ligaduras intermodélicas, los *conceptores*, que proporcionan relaciones interteóricas fuertes.

Se define el concepto estructural de *conceptor* En la concepción original de Jesús Mosterín (1984), un *conceptor* es un *functor*<sup>213</sup> en la estructura axiomática de una teoría. El *conceptor* permite la vinculación interteórica al ser un elemento estructural que se reconoce como formalmente idéntico en los diferentes bloques teóricos. Así,

un *conceptor* es un testafarro que de algún modo permite pensar a la vez en innumerables conceptos distintos, correspondientes a las historias de innumerables sistemas distintos, pero que, sin embargo, tienen algo en común: una estructura. (p. 141)

Este papel del *conceptor* de ser un *concepto de conceptos* lo acerca a la idea de *funcional* que Ulises Moulines (1982) plantea para ciertos conceptos centrales de una teoría, que se desempeñan como ligaduras.

<sup>213</sup> Esto es, una categoría abstracta que encabeza toda una *clase* de conceptos de la teoría.

Caracterizamos los conceptores como conceptos que aparecen en diversos modelos, y para los cuales existe marcada univocidad en la referencia empírica. Estos conceptos son *primitivos* y *T-teóricos* en muchas de las teorías en las que participan. Por lo tanto, no se *definen* explícitamente en los núcleos teóricos, sino que quedan caracterizados por la forma en que participan simultáneamente de las diferentes teorías, imponiendo así ligaduras muy fuertes sobre el sistema de conjunto<sup>214</sup>. En este sentido, los conceptores desempeñan una función *arquitectónica* fundamental: sostienen la estructura de coherencia de una o varias disciplinas.

El estudio de estas ligaduras interteóricas nos remite además al problema de la *aproximación interteórica* (Moulines, 1982), a

la cuestión de si una disciplina científica es reducible a otras más básicas, o no. (Estany, 1993: 21)

El concepto de <i>masa</i> es un ejemplo de conceptor	Un ejemplo claro de conceptor lo constituye el concepto de <i>masa</i> . En tanto que este concepto es T-teórico en diversas teorías mecánicas, químicas y termodinámicas, no está asociado a una definición rigurosa. Más bien tenemos una definición amplia (“es la cantidad de materia”) que le proporciona referencia empírica, una versión operacional para conectar modelos y sistemas a través de él (“es lo que mide la balanza”), y diversas ligaduras que restringen la forma en que participa de las diferentes teorías (“es lo que se conserva en el cambio químico”, “es lo que da la medida de la inercia de los cuerpos”,...).
---	---

En tanto que estas ligaduras son extremadamente numerosas y aparecen entre variados conjuntos teóricos de muchas disciplinas, el conceptor *masa* es muy poderoso en su referencia a la realidad y en su capacidad explicativa y organizadora.

---

<sup>214</sup> Los conceptores cobran sentido en cada modelo manteniendo una base fija en el cambio de modelos.

En el subpárrafo anterior definimos las disciplinas y los marcos teóricos como agrupaciones de teorías vinculadas por conceptores y ligaduras. Conviene introducir una distinción entre aquellos dos términos que es útil para dar cuenta de los campos disciplinares más jóvenes, entre los que se incluye la didáctica de las ciencias.

Llamamos *marco teórico* a la agrupación estricta de teorías en familias según fue descrita más arriba, con las unidades ricamente conectadas a través de las ligaduras interteóricas. Un ejemplo clásico de esta agrupación, desarrollado en detalle por Moulines (1982), es la *termodinámica clásica*. Reservamos el nombre de *disciplina* para una entidad del mismo nivel taxonómico que el marco, pero difusamente constituida a partir de agrupamientos analógicos y temáticos de las teorías alrededor de *conceptos nucleares* que definen sus objetos y perspectivas.

En este sentido, es probable que marcos y disciplinas coincidan en los campos teóricos más maduros, aunque el marco estricto agrupa teorías *nucleares*, y en la disciplina puede haber también teorías *periféricas* y *marginales* alrededor de él (Duschl, 1997). En todo caso, nuestro uso del término *disciplina* no es tan riguroso como para suponer que esta se trata de una genuina estructura. La disciplina es más bien una agrupación convencional, tanto académica como administrativa, entre cuyas diversas partes se perciben relaciones de parecido y coincidencias amplias.

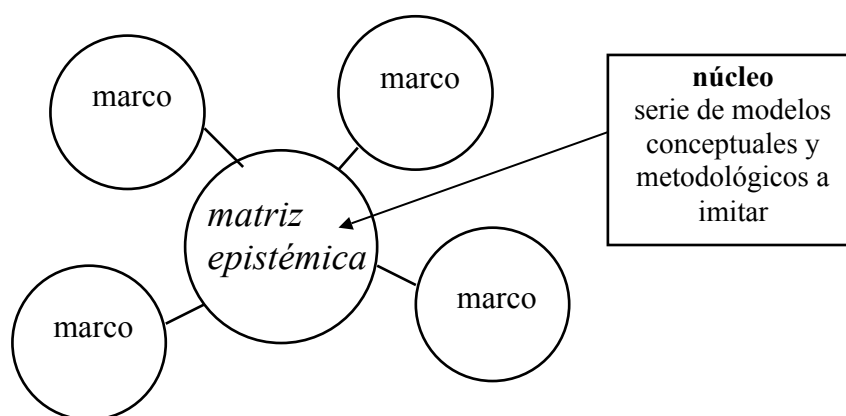
Las	Según la acepción que dimos al término disciplina, él no es
ciencias	completamente sinónimo de lo que se entiende por una <i>ciencia</i> .
como	
redes	La ciencia se manifiesta como un conjunto conexo de disciplinas
teóricas	que comparten objetos, problemas y enfoques. Así, cada ciencia
	puede ser vista como una <i>red</i> de familias de teorías.

La consideración de las ciencias como redes pretende enfatizar el aspecto tenue, poco denso, de las ligaduras que conectan sus diferentes disciplinas. A menudo, una ciencia resulta un conjunto de campos correlacionados entre sí temáticamente, a través de sus objetos, métodos y conceptos generales. Y, en este sentido, las ciencias pueden ser consideradas agrupaciones históricas *convencionales*, que continuamente se revisan y rediseñan sus límites.

En el mismo nivel taxonómico, pero diferenciándose de ellas, están las *matrices epistémicas* o *matrices disciplinares*<sup>215</sup>. Estas son agrupaciones de marcos de teorías posibilitadas a través de las similitudes no lingüísticas entre sus modelos. En este sentido, las matrices son el análogo de tercer nivel de los marcos y teorías<sup>216</sup>.

Se introduce el concepto de *matriz epistémica*

Las matrices epistémicas (figura 10.6) son conjuntos de modelos paradigmáticos tomados como guía para la investigación en diversas disciplinas conexas. Estos conjuntos de entidades no lingüísticas agrupan analógicamente los fenómenos abordables, los patrones de explicación admisibles y el *saber hacer* metodológico. La matriz o paradigma *cuántico* es un ejemplo que unifica diferentes disciplinas en la física y en la química.



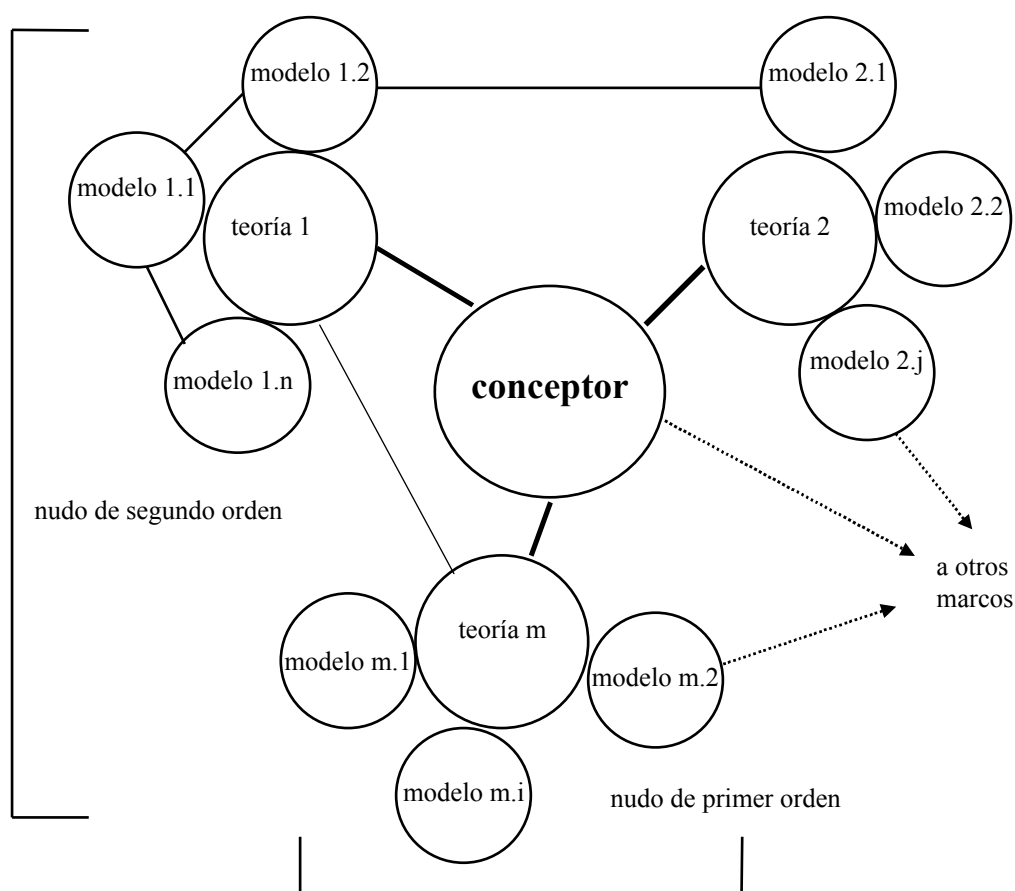
**Figura 10.6** Las matrices disciplinares o epistémicas son los paradigmas kuhnianos en su sentido más amplio. Agrupan disciplinas a través del saber y del saber hacer. No aparecen formuladas lingüísticamente de forma rigurosa ni extensiva.

Con la introducción de los tres niveles taxonómicos y las diferentes ligaduras, tenemos finalmente una imagen de conjunto de la estructura científica (figura 10.7). Los modelos aparecen densamente ligados dentro de una teoría, formando esta un *nudo de primer*

<sup>215</sup> Estas matrices se identifican con los paradigmas kuhnianos en su acepción más amplia (Kuhn, 1971).

<sup>216</sup> El primer nivel de organización representacional sería el de las teorías y el segundo nivel el de los marcos.

*orden*. Los modelos de una teoría se conectan a los de otras teorías menos densamente, dejando ver los marcos como *nudos de segundo orden*. Los modelos de cada marco tienden ligaduras aun menos densas con los de otros marcos; se conforman así las matrices, o *nudos de tercer orden*. Los conceptores y otros conceptos estructurales dan coherencia y rigidez a la estructura de todo el conjunto, coligando firmemente los nudos. Las disciplinas y las ciencias, en este esquema, se revelan como unidades de análisis poderosas, pero no dadas rígidamente (Foucault, 1990).



**Figura 10.7** Estructura en red de la ciencia. Se muestran los nudos de primer y segundo orden. El nudo de tercer orden es un conjunto de estas unidades. Las ligaduras entre modelos se hacen menos densas conforme se sube de nivel. Disciplinas y ciencias son compartimentos más o menos convencionales de esta red.

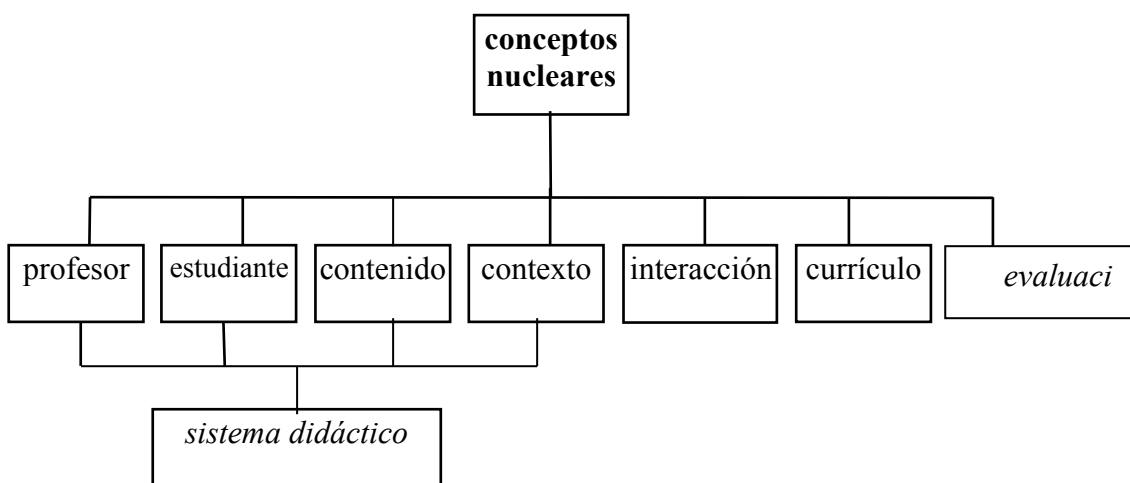
Dentro de este marco de ideas, la identificación de los conceptos que dan estructura a una disciplina científica ha sido un punto central del análisis metateórico (epistemológico, histórico y didáctico). En la didáctica de las ciencias en particular, se

ha hecho clara la necesidad de una clasificación de los distintos tipos de conceptos de importancia estructural con el fin de organizar más eficazmente el análisis de contenidos para la enseñanza.

Análisis  
estructural  
de la  
didáctica  
de las ciencias

En la didáctica de las ciencias podemos identificar algunos conceptos importantes por su originalidad disciplinar, su poder unificador y heurístico, y su participación en los modelos teóricos. Varios *conceptos nucleares* organizan en torno de sí las líneas de investigación que han dado lugar a numerosas familias de modelos. Entre estos conceptos nucleares, podemos destacar por su importancia los siguientes: *profesor, estudiante, contenido, contexto, interacción, currículo y evaluación* (figura 10.8). Los cuatro primeros conceptos constituyen el tradicional *sistema didáctico*, y, como marca Richard Duschl (1994), su estudio detallado y extensivo resulta prioritario para nuestra disciplina.

Nótese que no se nombran los conceptos de *enseñanza y aprendizaje*, que remiten a *procesos* organizadores (de gestión de saberes), relacionados con todos los conceptos nucleares anteriores. De entre estos, resultan de singular centralidad los de interacción, currículo y evaluación, pues alrededor de ellos están *coalesciendo*<sup>217</sup> los modelos teóricos para formar familias densamente ligadas, que comienzan a dar estructura teórica a la didáctica de las ciencias.



<sup>217</sup> Ya hemos mencionado que este proceso se llama *acreción* teórica.

**Figura 10.8** Algunos conceptos nucleares de la didáctica de las ciencias: por un lado, las componentes del sistema didáctico, por otro lado, las estructuraciones de estas componentes. Enseñanza y aprendizaje son procesos de gestión que involucran todos estos conceptos.

La  
*evaluación*  
como  
conceptor

Por otra parte, entre los conceptores de la didáctica de las ciencias, hemos identificado como central el de *evaluación-autorregulación* (Adúriz-Bravo, 1998b). Este concepto ha permitido la unificación fuerte de diversos modelos que hasta hace unos años se percibían como dispersos: modelos acerca del pensamiento del estudiante y del profesor de ciencias (apoyados en el concepto de *metacognición*), modelos acerca de la actividad científica y la actividad de aprendizaje de las ciencias, modelos acerca del desarrollo de unidades didácticas, modelos acerca de la evaluación en el currículo (Sanmartí, 1998, 2000a).

La aparición de este conceptor puede ser relacionada con un cambio en la *ontología* de la evaluación: actualmente se entiende esta como un proceso de regulación de la enseñanza y del aprendizaje.

La importancia de este concepto ha conducido a mucho trabajo teórico y empírico reciente, ya que se considera una necesidad identificar la forma en que está implicado en los diferentes modelos didácticos. Así, hay una intensa investigación didáctica encaminada a

caracterizar el conceptor evaluación formativa (autorregulación) revisando cómo participa de cada una de las teorías disponibles en la actualidad. (Adúriz-Bravo, 1998b)

Por otra parte, este conceptor tiene un interés adicional, ya esbozado por Izquierdo (1990b). En tanto que posee una referencia empírica más o menos constante en el tiempo, constituye un mecanismo poderoso para *discriminar* entre los diferentes modelos didácticos que se han propuesto a lo largo del desarrollo de la disciplina. A



través de él también es posible reconstruir los modelos didácticos implícitos que guían al profesor de ciencias en la práctica. Y, en este sentido, funciona a modo de “cabeza del pulpo” que conecta diferentes modelos didácticos entre sí (Izquierdo, comunicación privada)<sup>218</sup>.

#### 10.1.1.2.5 La ciencia como conocimiento evolutivo

Introducimos una perspectiva *diacrónica* basada en modelos Las ideas estructuralistas, semánticas y cognitivas, aunque dirigidas principalmente a dar cuenta de la estructura *sin crónica* de las disciplinas científicas, tienen el interés adicional de proporcionar modelos diacrónicos, o de *cambio científico*. Esto es así porque ellas han retomado desde una perspectiva internalista unidades de análisis originalmente externalistas:

Some philosophers have introduced units that are larger and less specific than theories in order to attempt to understand scientific change and progress. (Machamer, 1998: 7)

En las obras de Giere (1992b) y Moulines (1982), tales modelos de cambio aparecen desarrollados con extensión. Aquí realizamos una brevísima puntualización adecuada a nuestro propósito de entender la didáctica de las ciencias:

1. El período de *ciencia normal* (Kuhn, 1971) puede ser entendido como un acuerdo intradisciplinar acerca del conjunto de modelos paradigmáticos que la comunidad usará como guía. La expansión de la disciplina se realiza a través de la utilización extensiva de estos modelos. Así,

los modelos tienen prioridad lógica sobre la teoría general. (Giere, 1992b: 56)

2. Dado que las teorías científicas se constituyen a través de la agrupación de estos modelos por acreción, ellas evolucionan en el tiempo, enriqueciéndose a través de la expansión de su referencia empírica y la profundización de su caracterización lingüística.

---

<sup>218</sup> Esta idea está tomada de Ulises Moulines.

3. Dado que las teorías en sentido estricto son *estructuras* (conjuntos densamente ligados), estas no pueden cambiar sino en un bloque (a través de un cambio de Gestalt), reemplazándose completa y abruptamente por nuevos conjuntos de modelos que aparezcan y prueben su mayor eficacia conceptual. Este reemplazo se identifica con lo que Thomas Kuhn (1971) llama *revolución*.

Así, la evolución de la ciencia en general puede ser asimilada a la evolución de las familias de modelos que la conforman. Estas familias van expandiéndose y enriqueciéndose en el tiempo, e incluso pueden sufrir bruscas alteraciones o desaparecer completamente:

[L]os temas a investigar y los propios modelos teóricos han sido escogidos debido a que despiertan interés en unas circunstancias concretas, y este interés puede decrecer o perderse totalmente en otras. (Izquierdo, 2000a: 45)

Análisis <i>evolutivo</i> de la didáctica de las ciencias	Con este aparato teórico se puede echar una mirada a las líneas actuales de la investigación en la didáctica de las ciencias. Así es posible, en cierta medida, obtener una idea de cómo evolucionará la disciplina en los próximos años <sup>219</sup> .
---	---

John Gilbert (1995) utiliza la metáfora de los *campos (fields)* para hablar de la compartimentación al interior de la didáctica de las ciencias. Este autor afirma que los campos de investigación más importantes en la actualidad son tres:

1. el estudio de la comprensión de los estudiantes,
2. el estudio de la ciencia como cultura y como lenguaje, y
3. el estudio de los aportes de la epistemología, historia y sociología de la ciencia para la didáctica de las ciencias.

---

<sup>219</sup> Existen varios trabajos en el campo de la epistemología de la didáctica de las ciencias que hacen un análisis *evolutivo* de nuestra disciplina (Bowen, 1975; Lamb, 1976; Gil-Pérez, 1983, 1994, 1996; Klopfer, 1983; Soto y Sanjosé, 2001).

A estas líneas habría que agregar otras, como las mencionadas por Rafael Porlán (1998), que incluyen, por ejemplo, el pensamiento del profesor de ciencias y el uso de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación en la educación científica.

Recuperamos la línea HPS (capítulo 2) Como ya expusimos en el capítulo 2, es la línea que relaciona la didáctica de las ciencias y la epistemología la que consideramos el *núcleo teórico* principal de la didáctica de las ciencias de hoy en día. Aquí nos ocupamos de esta línea debido a que se inscribe muy bien en el modelo de disciplina metacientífica que hemos postulado para la didáctica de las ciencias.

Según consignamos anteriormente, a pesar de haberse interesado primordialmente por el análisis de la *estructura* de la ciencia (la lógica de los saberes), la didáctica de las ciencias se mantuvo alejada durante muchos años de los logros de la epistemología como disciplina formalizada. Sin embargo, esta situación se ha revertido crecientemente, y

el desarrollo de la didáctica de las ciencias ha terminado por impulsar una potente línea de investigación centrada en las relaciones entre historia y filosofía de las ciencias y la enseñanza de las ciencias. (Gil-Pérez, 1993: 198)

Actualmente podemos acordar entonces con Nicolás Marín (1997) acerca de que la línea de investigación más importante en la didáctica de las ciencias es la del

planteamiento y aplicación práctica de propuestas de enseñanza de las Ciencias orientadas desde la Historia y la Filosofía de la Ciencia. (p. 39)

Tal línea está fundamentada en las diferentes relaciones entre ontogenia y filogenia, que participan del núcleo teórico de la disciplina (Izquierdo, 1998a, 1998c). Esta línea incluye entre sus diversas orientaciones la del cambio conceptual. En efecto, desde el “epistemological turn” que Michael Matthews (1997) ubica en los años ’80,

a significant part of the recent HPS and Science Teaching literature has been concerned with the conjunction of the history of science and the psychology of learning. (p. 33)

La orientación del cambio conceptual, a pesar de su importancia teórica y de su ingente tratamiento empírico, es la que más fisuras epistemológicas presenta. En efecto, la atención creciente a la ciencia escolar, que es altamente independiente de la ciencia erudita, ha puesto bajo la mira de la crítica teórica las relaciones demasiado estrechas entre ontogenia y filogenia que sustentan este enfoque. En este sentido, hoy está siendo atacada

*la aceptación poco crítica, por parte de sus defensores, del supuesto de que los mecanismos de cambio conceptual de los que da cuenta la filosofía de la ciencia son análogos o semejantes a los que se pudieran dar en el sujeto. (Marín, 1999: 90; cursivas en el original)*

Consecuentemente, hay un reforzado cuestionamiento de las analogías y metáforas que comparan a estudiantes y científicos (Gopnik, 1996), que está llevando a nuevos senderos conceptuales para el campo.

Otra de las orientaciones importantes y muy exploradas de esta línea es la utilización de la epistemología y la historia de la ciencia en el desarrollo curricular (Izquierdo, 1990a; Leach, 2001). Este tipo de trabajos, como afirma Gilbert (1994, 1995), está grandemente difundido en el Reino Unido y en los países de habla inglesa.

Recuperamos el estudio de las relaciones entre la didáctica de las ciencias y la epistemología (capítulo 2)	La importancia, vastedad y extensión de las relaciones entre la epistemología y la historia de la ciencia, por un lado, y la didáctica de las ciencias, por el otro, es uno más de los elementos que sustentan nuestra consideración de esta última como una disciplina metacientífica. Como tal, la didáctica de las ciencias tiene problemáticas afines a las de las dos primeras, y se relaciona teóricamente con ellas de diversas maneras. En este sentido, el asentamiento de las relaciones de intercambio que hemos llamado <i>explicativa</i> y <i>explicativa inversa</i> también avala en cierta medida nuestro metamodelo.
---	--

### 10.1.1.3 La ciencia como discurso

Se toman tres perspectivas de la *lingüística* de la ciencia

Como dijimos en el párrafo anterior, dedicado al conocimiento, la ciencia se apoya en usos muy específicos del lenguaje natural (Galagovsky, Bonan y Adúriz-Bravo, 1998; Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001). Los modelos científicos son representaciones del mundo que operan sobre él, pero que deben inscribirse en diversos sistemas de símbolos para asegurar su operativización, su comunicación y su perpetuación;

we write about sciences to be able to teach them, to discuss about them, to spread them.  
(Izquierdo, 1992: 10)

El discurso científico puede ser estudiado desde su pragmática, esto es, desde la forma en que es puesto en acción para referir a los datos empíricos. Tal referencia se logra a través de la *construcción* de los hechos científicos, que pretenden conectar con el mundo real además de ser estructuraciones de fenómenos.

Por otra parte, como este discurso escrito verdaderamente *reemplaza* la actividad científica en los libros de texto, que son los principales órganos difusores de la ciencia (Kuhn, 1971; Giere, 1992b; Estany, 1993), resulta interesante estudiar las herramientas *retóricas* por medio de las cuales tiene lugar dicha sustitución semiótica (Izquierdo, 2000b, 2000c).

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

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

Queremos hacer énfasis en que estas perspectivas nos parecen valiosas para el profesorado de ciencias en tres sentidos complementarios: en primer lugar, para entender la ciencia erudita a fin de poder transponerla adecuadamente; en segundo

lugar, para estructurar una actividad científica escolar más rica; y por último, para ser aplicadas al análisis de la propia didáctica de las ciencias.

#### 10.1.1.3.1 La ciencia como discurso pragmático

Se presenta el proceso de *semiosis* científica      Una parte importante de la actividad dentro de las ciencias puede ser caracterizada por medio de los procesos semióticos<sup>220</sup> siguientes:

1. pensar *en* los modelos teóricos,
2. pensar *con* los modelos teóricos, y
3. pensar *sobre* los modelos teóricos.

Pensar en el modelo científico implica trabajar dentro de su estructura semiótica, operando formalmente sobre los signos que la componen. Esto supone manipular entidades que no tienen existencia alguna en la realidad. Las actuaciones se realizan con relativa independencia de las vinculaciones que el modelo sobre el que se interviene mantiene con el sistema real que representa. Este trabajo es propio de la porción *teórica* de una disciplina científica.

A través de él se explora y expande la semántica de las entidades representacionales utilizadas, y se caracteriza estas representaciones en forma rigurosa por medio de diversos enunciados, cuyo grado de formalidad y matematización es variable<sup>221</sup>.

Pensar con el modelo implica rastrear las conexiones de su estructura semiótica propia con la realidad representada; es decir, dotar al modelo de significados sobre el mundo, y de esta forma intervenir activamente en la realidad, tanto desde el pensamiento y el discurso como desde la acción. Este es el trabajo más característico de la práctica científica *experimental* en sentido amplio, o de contraste empírico.

---

<sup>220</sup> Esto es, procesos de *atribución de significados*.

<sup>221</sup> Entre estos enunciados sobresalen por su importancia las *leyes* (Estany, 1993).

Recuperamos la importancia de la *abducción* (primera aplicación) A través de ella, ponemos en acción patrones de razonamiento *abductivo* (Samaja, 1994; Giere, 1999b), mediante los cuales conectamos los modelos a la realidad analógicamente. Luego sometemos a contrastación las predicciones de nuestras analogías, para lo cual realizamos una verdadera *reconstrucción teórica de los hechos* (Izquierdo y Márquez, 1993; Izquierdo, 1999b, 2000c), que se incrustan así en el seno del modelo.

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

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

Por último, pensar sobre el modelo implica revisar el pensamiento *en y con* desde un segundo nivel de discurso, emitiendo juicios de valor acerca de la validez y pertinencia de las operaciones y actuaciones realizadas. Esta es la labor que caracteriza el cinturón metateórico de una disciplina científica, en el cual se incluye la reflexión didáctica.

Los modelos se relacionan con las formas de explicación admisibles en cada disciplina históricamente situada. Desde el punto de vista de su contenido, porque las familias de modelos, mediante las hipótesis teóricas, imponen restricciones sobre lo que se puede hacer, decir y pensar (Izquierdo, 2000b), restricciones que se han generado en las propias resistencias de la realidad. Y desde el punto de vista de su caracterización lingüística, porque los modelos proporcionan los *patrones de explicación* que se consideran válidos en cada momento del desarrollo de la disciplina (Izquierdo, 1994b, 1995a).

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

muy especialmente, reflexionar sobre las relaciones válidas entre las dos instancias anteriores<sup>222</sup>.

#### 10.1.1.3.2 La ciencia como discurso experimental

Las ciencias naturales son sólo en parte *experimentales* La importancia de la experimentación en las ciencias naturales ha sido en general sobrevalorada, al punto de que estas son muchas veces llamadas ciencias *experimentales*. Esta distorsión del papel de la experimentación en la actividad científica tiene diversos problemas de cara a la construcción de un modelo epistemológico más adecuado.

Primeramente, esta visión ingenua asigna a los *hechos* el lugar central en el conocimiento científico, creando una imagen de corte empirista totalmente alejada de la práctica científica actual, que está sustentada en los modelos teóricos:

Muchas personas sostendrían que los hechos son más importantes que las teorías. Nada puede estar más lejos de la verdad en lo que se refiere a cómo funciona la ciencia. Las teorías científicas son el elemento más importante del conocimiento científico y desempeñan un papel central, vital, en el desarrollo de este conocimiento. (Duschl, 1997: 23)

En segundo lugar, el énfasis en la experimentación deja de lado otras formas de interacción con la realidad que pueden ser tanto o más importantes que ella en algunas disciplinas (de hecho, en ciencias como la *astronomía*, de cuya enseñanza se ocupa también nuestra didáctica, la experimentación tiene un papel absolutamente marginal).

El relativizar el papel de la experimentación en las ciencias no significa de ninguna manera negarles a estas relación con la realidad, ni adoptar posturas escépticas. Se trata de valorar el lugar del experimento y de otras formas de producción de hechos en el seno de los modelos teóricos, dentro de los cuales dichos hechos aparecen

---

<sup>222</sup> Este es justamente el sentido de nuestra segunda aplicación.



necesariamente *reconstruidos* a través del lenguaje (Izquierdo y Márquez, 1993; Izquierdo, Solsona y Estanya, 1995).

Las teorías contienen en sí mismas la realidad sobre la cual predicán, y en este sentido modelos y realidad están profundamente conectados. Así,

es la confianza en nuestro lenguaje observacional y la estrecha integración de la observación y la teoría lo que hace a la ciencia objetiva. (Hodson, 1988: 12)

El núcleo teórico de una familia de modelos, en continua expansión, exhibe hipótesis acerca de las porciones de realidad que constituyen su campo semántico de aplicación; las hipótesis expresan el grado de adecuación entre los modelos teóricos y los sistemas reales. Dichas hipótesis teóricas son *operacionales*, en el sentido de que afirman consecuencias derivadas de la analogía entre modelo y sistema que son susceptibles de contraste empírico (Giere, 1999a, 1999b, 1999c).

Una forma importante de contraste con la realidad es sin duda la experimentación, pero no es la única; el apoyo empírico

se consigue de muchas maneras diferentes: mediante la experimentación, mediante la observación sistemática, mediante entrevistas o estudios, mediante pruebas psicológicas y clínicas, mediante el examen cuidadoso de documentos, inscripciones... (Hempel, 1973: 13)

Pero es en la experimentación que se manifiesta muy claramente la íntima unión entre acción y pensamiento, propia de las tecnociencias. La experimentación involucra la creación de una realidad ficticia, recortada, simplificada, es decir, *artificial*.

Se introduce el concepto de *mediación instrumental*

Ahora bien, la experimentación y otras formas de intervención en la realidad aparecen mediadas por *instrumentos* conceptuales, lingüísticos y materiales. Estos instrumentos necesitan de representaciones de su funcionamiento y de las acciones que con ellos pueden realizarse. Como afirma Derek Hodson (1988):

La ciencia utiliza frecuentemente la observación indirecta y ésta, a su vez, depende de una teoría de la instrumentación. (p. 10)

Mercè Izquierdo<sup>223</sup>, adaptando a Pickering (1989), sugiere que la construcción de hechos mediados por instrumentos deviene de la integración coherente de tres polos: las representaciones del fenómeno estudiado, del instrumento con el que se lo estudia, y de las acciones que se llevan a cabo con dicho instrumento.

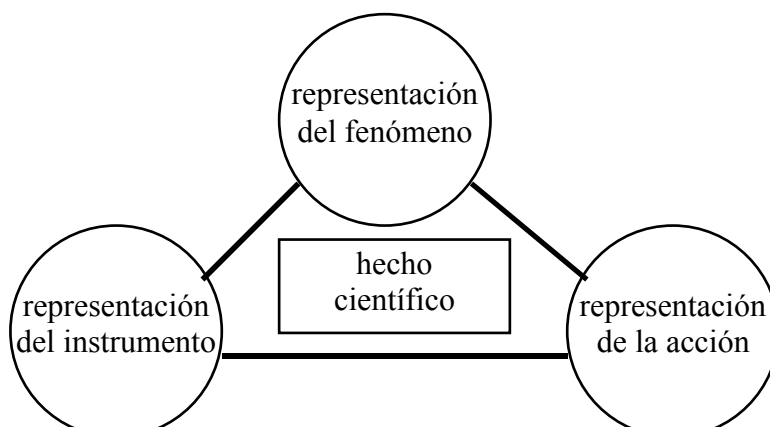
Esto es, necesitamos un modelo conceptual y un modelo *instrumental* de la realidad. El modelo instrumental se circunscribe a menudo a una representación del funcionamiento de un aparato o de una herramienta tecnológica:

The instrumental model expresses the experimenter's conceptual understanding of how the apparatus functions, and is central to the design, performance and interpretation of the experiment. (Pickering, 1989: 277)

Este modelo instrumental forma parte de la teoría, que tiene así carácter operatorio:

Com que les teories són per a intervenir en el món, depenen dels instruments utilitzats i de les finalitats d'aquesta intervenció. (Izquierdo, 1998c: 5)

Tenemos así una *visión estereoscópica de la intervención mediada* (figura 10.9): la teoría, en tanto que es operatoria, coliga las representaciones del fenómeno sobre el que se interviene, de la propia intervención y del instrumento mediador (Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999). Los tres elementos se moldean plásticamente para vencer las resistencias que opone la realidad y conseguir una coherencia fuerte entre las prácticas conceptuales y las materiales (Pickering, 1989).



**Figura 10.9** Visión estereoscópica de la intervención mediada. En la interacción fuerte entre los tres polos aparece el *hecho reconstruido*, que es una reorganización teórica de los datos empíricos.

Este modelo de ciencia es completamente aplicable a la didáctica de las ciencias. Pero debe recordarse que cuando hablamos de experimentación y de instrumentos, no caemos en una visión tecnologista que considera a los profesores de ciencias como meros ejecutores de un plan de gestión eficientista. Hablamos de una investigación didáctica hecha en el aula e involucrando al profesorado de ciencias, para la cual se conciben nuevos instrumentos, dirigidos a la *regulación* de la actividad.

#### 10.1.1.3.3 La ciencia como discurso retórico

El lenguaje en el campo estructurante de correspondencia y racionalidad (capítulo 5)	La creación de una realidad teórica ficticia, que es intrínseca a la ciencia, se apoya en un uso muy complejo del lenguaje natural. En este párrafo marcaremos algunas de las características del lenguaje científico que nos parecen relevantes para dar cuenta de dos aspectos:
---	--

1. la forma en que las teorías correlacionan con los hechos del mundo sobre los cuales ellas predicán, y
2. la forma en que las teorías son validadas por la comunidad<sup>224</sup>.

Por una parte, el lenguaje es esencial a la naturaleza de la ciencia, desde el momento en que esta es un discurso escrito, público y comunicable (Izquierdo, 1990b, 2000b, 2000c, en preparación; Echeverría, 1995):

---

<sup>223</sup> En: Izquierdo, Sanmartí et al. (1997); Izquierdo, Sanmartí y Espinet (1999).

<sup>224</sup> Estos dos aspectos condicen con los tópicos epistemológicos de correspondencia y racionalidad (capítulo 5).

La ciencia es pública y no privada, es en última instancia un cuerpo de conocimiento socialmente compartido y convalidado (...). Para el desarrollo de la ciencia lo que importa es que las nuevas aportaciones puedan ser conocidas y utilizadas por otros científicos. (Pérez Alonso-Geta, 1985: 17)

Este discurso sigue reglas de formación muy estrictas que cambian históricamente; cada etapa de la ciencia tiene normas para

el registro y la difusión de los resultados y las ideas usando estilos de lenguaje aprobados por la comunidad y el logro de consenso por medio de la discusión y la crítica. (Hodson, 1988: 16)

El discurso científico escrito, que se aleja crecientemente de la actividad, sufre diversas *reconstrucciones*, entre las cuales están las que Gooding (1992) llama *retórica* y *didáctica*, destinadas a la difusión de la ciencia, y que resultan de sumo interés para nuestra disciplina<sup>225</sup>.

El lenguaje científico puede considerarse un espacio semiótico en evolución, con variadas funciones retóricas (Halliday, 1993), que se adecuan a los valores de cada época. La retórica es esencial a la ciencia, pues

science, like all persuasive discourse, must *convince* us of the truth of its claims. (Gross, 1990: 21; el subrayado es nuestro)

La retórica de las ciencias crea entidades del lenguaje que son operadores en el modelo científico. Estos operadores funcionan como verdaderos mediadores en el proceso de explicación. En este contexto, la *analogía* resulta un recurso fundamental en la creación de las entidades científicas,

as a heuristic, it is active, helping to create hypotheses. (Gross, 1990: 26)<sup>226</sup>

---

<sup>225</sup> Son las reconstrucciones destinadas a convencer y a enseñar.

<sup>226</sup> La importancia de la analogía en la ciencia erudita y en la ciencia escolar se trata más extensamente en la tercera aplicación.

Se introduce el concepto de *nominalización científica* Una característica importante del lenguaje de la ciencia es que sus conceptos a menudo no refieren a entidades en sí mismas, sino a estructuraciones de fenómenos en los que ellas participan. Así, hay conceptos científicos que remiten a los *procesos* en los cuales aparecen involucradas las propias entidades empíricas. Por ejemplo, los conceptos de *interacción*, *reacción* y *evolución* dan cuenta de importantes aspectos teóricos de las relaciones entre conceptos de las ciencias naturales, y en este sentido son fundamentales y estructuradores en ellas.

Esta estrategia, la *nominalización*, consiste en hablar de los procesos y de sus atributos en forma de objetos, sobre los cuales se dan, por su parte, procesos y atributos, que son a su vez nominalizables. Los verbos se reservan en el texto científico para predicar acerca de las *relaciones* entre procesos (Halliday, 1993). Este lenguaje nominalizador tiene una extraordinaria capacidad recursiva y operatoria, fundamental en el texto;

the device of nominalizing (...) is an essential resource for constructing scientific discourse. (Halliday, 1993: 61)

La creación de *conceptos de procesos* es una característica prototípica del lenguaje científico. Este lenguaje ya no predica sobre la realidad misma, sino sobre el conocimiento estructurado que sobre ella poseemos:

Los signos del lenguaje son representaciones que resultan más manejables que el objeto al que refieren; y este objeto no son las cosas en sí, sino lo que el hombre conoce (piensa) sobre las cosas. (Izquierdo, 1990b: 159)

La mediación lingüística, entonces, nos aleja del conocimiento “copiado” de la realidad ontológica de las cosas, al introducir una dimensión constructiva; pero el conocimiento científico –aun estando lingüísticamente mediado– pretende referir a la realidad y estar firmemente anclado en ella.

La didáctica de las ciencias como disciplina también puede ser objeto de un análisis retórico que siga los lineamientos antes expuestos<sup>227</sup>. Este análisis podría mostrar, entre otras cosas, los mecanismos de convencimiento de los que se vale la comunidad académica para difundir sus innovaciones en las aulas de ciencias e implicar en forma comprometida al profesorado de ciencias.

## 10.2 Estructura de los modelos teóricos de la didáctica de las ciencias

Se propone un modelo para la estructura interna de los <i>modelos teóricos</i> de la didáctica de las ciencias	El análisis epistemológico general que hemos expuesto en la sección anterior ha intentado mostrar que el modelo cognitivo de ciencia, expandido con elementos de los modelos estructuralista y semántico, da cuenta de la estructura de coherencia actual de la didáctica de las ciencias. Para ello, hemos identificado los <i>modelos teóricos</i> como la unidad estructural y funcional de nuestra disciplina. Ahora queremos bucear un poco en la estructura interna de esos modelos.
--	--

Con el ambiguo término de *modelo didáctico* podemos hacer referencia a dos tipos de modelos teóricos diferentes:

1. aquellos modelos teóricos (en el sentido de Giere) que constituyen las unidades estructurales del conocimiento didáctico, es decir, modelos sobre diversos aspectos de la educación científica, y
2. aquellos modelos sobre el funcionamiento de la disciplina, propuestos en su cinturón metateórico, y, por tanto, también específicamente didácticos<sup>228</sup>.

En esta sección nos ocupamos de la estructura de los modelos didácticos más propiamente dichos, esto es, los que se inscriben en el primero de los dos sentidos enunciados. Retomamos para ello algunos elementos expuestos en nuestra tesis de

---

<sup>227</sup> Con este análisis, por ejemplo, se identificaría la creación del concepto de *transposición didáctica* como un proceso de nominalización acaecido en nuestra disciplina.

maestría, y recogidos posteriormente por Mariona Espinet (1999) y Mercè Izquierdo (1999b).

Nuestra idea de *modelo didáctico* tiene cinco elementos

En la tesis de maestría<sup>229</sup> postulamos que un modelo didáctico se estructura por medio de la presentación de cinco elementos constituyentes:

1. *El problema o fenómeno que el modelo explica.* Esto es lo que hemos llamado *campo semántico* del modelo, sobre el cual este se proyecta por medio de un mecanismo analógico (es decir, de similaridad), mediado por las hipótesis teóricas.
2. *Cómo se caracteriza el modelo.* Este elemento de naturaleza eminentemente lingüística es lo que hemos llamado el *núcleo sintáctico* del modelo, que contiene una serie de enunciados: principios, definiciones, leyes, ecuaciones. Pero el modelo también se caracteriza por medio de herramientas no lingüísticas (sistemas simbólicos en general): maquetas, esquemas, mapas, gráficas, simulaciones.
3. *Qué meta-afirmaciones incluye el modelo.* Es decir, un análisis metateórico de la congruencia del modelo con otros modelos teóricos aceptados y con el marco general de ideas que fundamenta la educación científica.
4. *Qué apoyo empírico tiene.* Esto es, qué resultados de la investigación didáctica de las ciencias son compatibles con las pretensiones del modelo sobre la realidad<sup>230</sup>.
5. *Qué metas específicas persigue.* Este quinto elemento constituyente aparece más bien en el caso de que el modelo sea de naturaleza tecnológica, esto es, que pretenda intervenir activamente en el mundo de la educación científica.

Podemos aplicar el aparato metateórico desarrollado en este capítulo para explicar esta estructura en cinco partes:

---

<sup>228</sup> Además podemos usar el término *modelo didáctico*, en el contexto de la educación científica, en un tercer sentido bien distinto, del que nos ocupamos en la tercera aplicación. Este sentido tiene que ver con la creación de la ciencia escolar.

<sup>229</sup> Adúriz-Bravo (1999b), apartado 3.5.2, páginas 185-190, y subparágrafo 4.3.3.2.b, páginas 271-272.

<sup>230</sup> Nótese que este elemento es distinto del primero; a menudo es mucho más acotado que aquel.

1. La enunciación del ámbito de la realidad para el cual el modelo constituye una explicación, se corresponde con los *sistemas análogos* a los cuales el modelo está vinculado mediante las hipótesis teóricas. El conjunto de estos sistemas es el *campo semántico*, o dominio, del modelo didáctico (figura 10.4).
2. La caracterización lingüística del modelo proporciona un sistema de enunciados que lo definen lógicamente; este sistema formal (no axiomático) se corresponde con lo que hemos llamado el *núcleo sintáctico* (figura 10.4). El núcleo también contiene elementos no enunciativos, de naturaleza simbólica y analógica.
3. Las afirmaciones de carácter metateórico, según hemos dicho, conviven en la disciplina con las afirmaciones didácticas. Dicha convivencia se da en varios niveles simultáneos: en la base teórica de la didáctica de las ciencias, en la cual hay modelos de primer y segundo orden; en la actividad de los didactas de las ciencias, en la que se alternan las discusiones didácticas y epistemológicas específicas; en las publicaciones especializadas de la disciplina, en las que podemos encontrar ambos tipos de enunciados; y, por fin, al interior de los propios modelos didácticos. Con esto queremos enfatizar el hecho de que consideramos que *las afirmaciones metateóricas constituyen una parte importante de la caracterización lingüística del modelo*. Ellas revisan desde un segundo orden de discurso la construcción y aplicación del modelo didáctico a la educación científica.
4. En el discurso escrito, el modelo se presenta con la intención de convencer a los lectores (profesores de ciencias y didactas de las ciencias) de su potencial heurístico. Para ello se hace uso de diversas herramientas retóricas. Una de ellas, que ya hemos consignado, es la *reconstrucción* teórica de hechos empíricos, para dar apoyo al modelo en una instancia particular de explicación. Los hechos reconstruidos generalmente provienen de la evaluación de investigaciones y propuestas de innovación de la didáctica de las ciencias.

Nuestra idea de modelo didáctico es congruente con el modelo tecnocientífico

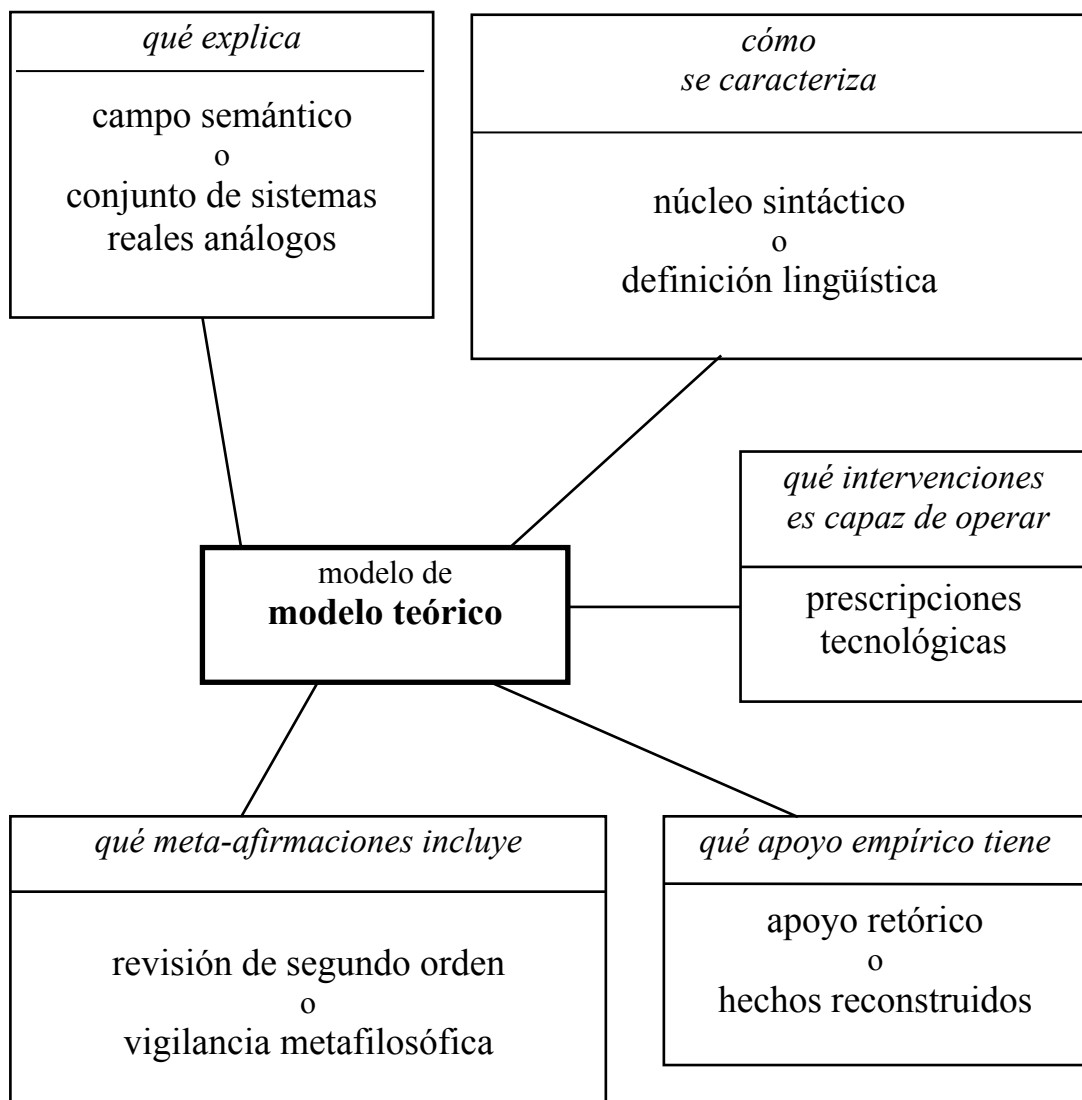
Los cuatro elementos anteriores conforman la *dimensión explicativa* del modelo teórico de la didáctica de las ciencias. Si se desea operar materialmente sobre la realidad, se incluye otro conjunto de afirmaciones:

5. En el caso de los modelos didácticos tecnológicos, se marca explícitamente el conjunto de intervenciones sobre la realidad, o metas prácticas, que dichos modelos



son capaces de ejecutar. Esto constituye la *dimensión prescriptiva* del modelo. Los fines de las intervenciones tecnológicas están conectados con los valores que detenta la didáctica de las ciencias.

En la figura 10.10 resumimos estos cinco elementos constituyentes, presentando así el *átomo* (unidad estructural y funcional) de nuestra ontología de segundo orden: el *modelo teórico*. Este átomo consiste en una adaptación que hemos hecho de los planteamientos de la epistemología cognitiva, expandidos con aportaciones de las escuelas estructuralista y semántica (Adúriz-Bravo, 1999b).



**Figura 10.10** Nuestra idea de *modelo teórico*, adaptada de los planteos cognitivos, enriquecidos con elementos semánticos y estructuralistas. Hay cuatro elementos que conforman la dimensión explicativa. La dimensión prescriptiva aparece sólo en el caso de que el modelo pretenda intervenir *materialmente* en la realidad.

### 10.2.1 *Análisis de modelos*

Se analizan dos modelos de integración curricular de las metaciencias

Podemos ejemplificar esta estructura analizando con ella dos modelos didácticos que ya se han comentado en esta tesis. El primero es el modelo de Monk y Osborne (1997) para integrar la

epistemología y la historia de la ciencia en el currículo de ciencias (figura 10.11).

<b>El modelo de integración de las metaciencias en el currículo de ciencias (Monk y Osborne, 1997)</b>	
<i>qué explica</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Algunas causas del fracaso de muchos intentos anteriores de integrar las metaciencias en el currículo de ciencias.</li> <li>2. Formas específicas en las que las metaciencias contribuyen a la educación científica.</li> <li>3. La compatibilidad de las metaciencias con el modelo generativo.</li> </ol>
<i>cómo se caracteriza</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Es un modelo que:               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. tiene en cuenta que los profesores de ciencias ponen el aprendizaje de conceptos y los resultados de los exámenes como prioridades,</li> <li>b. considera que las metaciencias no son <i>más</i> contenidos añadidos al currículo,</li> <li>c. supera defectos de los enfoques de proceso y de producto,</li> <li>d. presupone la relevancia de las metaciencias en el currículo de ciencias, y</li> <li>e. incorpora en el aula la <i>confrontación de ideas</i>, propia del constructivismo didáctico.</li> </ol> </li> <li>2. Se caracteriza a través de siete fases<sup>231</sup>.</li> <li>3. Se proponen ejemplos breves.</li> </ol>
<i>qué meta-afirmaciones incluye</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Este modelo didáctico es congruente con un modelo epistemológico realista y racionalista.</li> <li>2. Critica la analogía estrecha entre</li> </ol>

<sup>231</sup> Las fases se explicitan en el capítulo 4 (figura 4.2).

	<p>ontogenia y filogenia.</p> <p>3. Es congruente con los principios del constructivismo didáctico.</p>
<i>qué apoyo empírico tiene</i>	<p>1. Apoyo bibliográfico.</p> <p>2. Resultados de su implementación en la formación del profesorado de ciencias.</p> <p>3. Episodios de la historia de la ciencia.</p>
<i>qué intervención desea</i>	<p>1. <i>Cambiar la actitud de los profesores de ciencias con respecto a las metaciencias.</i></p> <p>2. <i>Proponer un formato de diseño de unidades didácticas que utilice las metaciencias.</i></p>

**Figura 10.11** Análisis del modelo de integración de las metaciencias en el currículo de ciencias.

El segundo modelo que analizamos es el que hemos utilizado para sustentar las actividades didácticas que forman nuestra primera aplicación (figura 10.12).

<b>El modelo que subyace a nuestras actividades de formación epistemológica inicial del profesorado de ciencias (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001f)</b>	
<i>qué explica</i>	<p>1. La importancia de la <i>explicación científica</i> como tópico potente para coordinar las épocas y los campos.</p> <p>2. Contribuciones específicas de la epistemología a la formación del profesorado de ciencias.</p> <p>3. La eficacia de la ambientación histórica de los tópicos epistemológicos.</p>
<i>cómo se caracteriza</i>	<p>1. Es un modelo generativo expandido por el uso de la analogía y la metacognición.</p> <p>2. Presenta algunos tópicos epistemológicos ambientados</p>

	<p>históricamente.</p> <p>3. Se concentra en la enseñanza de la epistemología por su valor intrínseco.</p>
<i>qué meta-afirmaciones incluye</i>	<p>1. Es un modelo que propone el uso de textos <i>originales</i> de la epistemología.</p> <p>2. Tiene en cuenta las necesidades de <i>coherencia</i> y <i>funcionalidad</i> de la formación epistemológica.</p>
<i>qué apoyo empírico tiene</i>	<p>1. Marcos teóricos congruentes, provenientes de la epistemología y la didáctica de las ciencias.</p> <p>2. Instancias de formación del profesorado de ciencias.</p>
<i>qué intervención desea</i>	<p>1. Enseñar tópicos epistemológicos a los futuros profesores de ciencias.</p> <p>2. Proponer un tipo de diseño de unidades didácticas.</p>

**Figura 10.12** Análisis del modelo didáctico que subyace a las tres actividades de nuestra primera aplicación.

### 10.3 La didáctica de las ciencias como disciplina autónoma<sup>232</sup>

Dentro del análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias, una de las cuestiones más tratadas ha sido la de las relaciones que nuestra disciplina mantiene con otras. Esta sección recupera tal cuestión para la formación epistemológica del profesorado de ciencias.

Se cuestiona el modelo *heterónomo* que se ha propuesto a veces para la didáctica de las ciencias

La didáctica de las ciencias ha sido a menudo considerada en una relación de *dependencia* de disciplinas tales como las ciencias naturales, la pedagogía y la psicología educativa (Gil-Pérez, Carrascosa y Martínez Terrades, 2000, 2001; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001c; Eder y Adúriz-Bravo, 2001). Esta

<sup>232</sup> Esta sección sigue de cerca el texto de dos de nuestros trabajos (Adúriz-Bravo, en prensa-e; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001c).

consideración se basó en argumentos de carácter más histórico, curricular y administrativo que estrictamente epistemológico. Otra tendencia muy difundida fue caracterizar la investigación didáctica de las ciencias como un campo *interdisciplinar*<sup>233</sup>, en el que trabajan profesionales que pertenecen a distintas áreas. En esta sección, mostramos por qué creemos que estas dos visiones no se ajustan completamente a la naturaleza epistemológica del conocimiento didáctico de las ciencias.

Muchas características de la configuración actual de la didáctica de las ciencias hacen posible argumentar en favor de un modelo de *disciplina autónoma*. Esta argumentación, desde las perspectivas histórica y epistemológica, puede ser de valor para la formación del profesorado de ciencias.

Se resume la sección En el primer apartado, realizamos un recorrido histórico a través de las distintas etapas de evolución de nuestra disciplina. El segundo apartado revisa algunas consideraciones de naturaleza epistemológica. Por último, en el tercer apartado destacamos los puntos centrales de nuestro análisis y sus consecuencias sobre nuestra concepción de la didáctica de las ciencias.

### 10.3.1 *Historia de la didáctica de las ciencias*

Recuperamos los estudios históricos de la didáctica de las ciencias como disciplina Varios estudios recientes revisan la evolución histórica de la didáctica de las ciencias<sup>234</sup>. La existencia de estos estudios, es decir, la posibilidad de trazar una *genealogía* del campo de la didáctica de las ciencias, se apoya necesariamente en cierto grado de consolidación de la disciplina, que permite a los didactas de las ciencias distanciarse de su propia práctica y tomarla como objeto de reflexión.

---

<sup>233</sup> Por ejemplo en Peme-Aranega (1997) y Black (1998).

<sup>234</sup> Por ejemplo: Duschl (1988); Cleminson (1990); Astolfi (1993); Peme-Aranega (1997); Porlán (1998); Espinet (1999); Gil-Pérez, Carrascosa y Martínez Terrades (2000, 2001).

Trazamos la historia de nuestro campo en cinco etapas

En general, estos estudios históricos coinciden en distinguir varias *etapas* en el desarrollo de la didáctica de las ciencias<sup>235</sup>. Nosotros hablamos de cinco etapas en el desarrollo histórico de la didáctica de las ciencias, caracterizadas por el tipo de investigación empírica, y por los referentes epistemológicos y psicopedagógicos más utilizados (figura 10.13).

<b>Etapa</b>	<b>Referentes epistemológicos</b>	<b>Referentes psicopedagógicos</b>	<b>Metodología de la investigación empírica</b>
<i>adisciplinar</i> 1880-1955	variados (positivismo lógico)	variados (pedagogía activa)	no hay investigación empírica
<i>tecnológica</i> 1955-1970	positivismo lógico	neoconductismo y modelo de Bruner	investigación evaluativa (cuantitativa)
<i>protodisciplinar</i> 1970-1980	racionalismo crítico	modelos de Piaget y de Ausubel	cuantitativa y cualitativa; enfocada en aprendizaje
<i>emergente</i> 1980-1990	nueva filosofía de la ciencia	modelo constructivista	mayormente cualitativa; enfocada en enseñanza, aprendizaje y contenidos
<i>consolidada</i> 1990-	visiones contemporáneas	modelos cognitivo y constructivista	casi exclusivamente cualitativa; paradigma metodológico constructivista

<sup>235</sup> Pueden consultarse, como ejemplo, las periodizaciones que hacen Peme-Aranega (1997) y Porlán (1998).

**Figura 10.13** Evolución de la didáctica de las ciencias en cinco etapas, marcadas por sus referentes psicopedagógicos y epistemológicos, y la naturaleza de su investigación empírica. Las fechas son aproximadas.

#### 10.3.1.1 Etapa adisciplinar

Desde las primeras muestras de una preocupación teórica por la calidad de la enseñanza de las ciencias naturales en la escuela (a fines del siglo XIX, cuando se conforman los sistemas educativos formales), y hasta mediados de la década del '50 del siglo XX, se registran muy pocos trabajos en el campo que hoy llamamos didáctica de las ciencias. Estos trabajos utilizan diferentes marcos teóricos (no siempre formalizados ni explícitos), con base en la pedagogía, la psicología, las propias ciencias naturales y, en menor medida, las metaciencias.

La etapa adisciplinar se inicia con la imposición de la educación científica formal y acaba con el lanzamiento del Sputnik

La disparidad de estas producciones y la falta de conexión entre sus autores, nos permiten sostener que para esas épocas la didáctica de las ciencias aún no existe como campo específico de problemas y como cuerpo internacional de investigadores (Martínez Terrades, 1998). Sólo podemos hablar de una serie de estudiosos de distintas disciplinas que coinciden en su preocupación por la problemática de la educación científica.

Arrieta Gallástegui (1989), hablando de la didáctica de la matemática, atribuye la falta de consolidación de esa disciplina en su primera etapa a la inexistencia de *clientes* que demandaran el conocimiento científico y tecnológico específico que le daría más tarde identidad. Esta explicación puede ser trasladada a nuestro campo, considerando que la clientela aparece con la preocupación que supuso, para los Estados Unidos, la percepción de un “retraso” científico respecto de la Unión Soviética, atribuido a la baja calidad de la educación científica general de la población<sup>236</sup>.

---

<sup>236</sup> Es el famoso episodio del lanzamiento del *Sputnik* como inicio de un cambio para la educación científica (Aliberas, 1989; Duschl, 1997).



### 10.3.1.2 Etapa tecnológica

La etapa tecnológica se inicia con los proyectos curriculares anglosajones y termina con el ascenso de la didáctica europea continental

La etapa tecnológica se inicia con los proyectos curriculares anglosajones y termina con el ascenso de la didáctica europea continental

La etapa tecnológica se inicia con la voluntad de cambio de los currículos de ciencias que se extiende rápidamente por el mundo anglosajón durante las décadas del '50 y '60 como respuesta a la preocupación antes expuesta (Bybee, 1977). Se ponen en marcha una serie de programas a gran escala, que toman como orientación teórica diversas investigaciones en psicología del aprendizaje que son *inespecíficas* de los contenidos de ciencias. Estos programas son luego evaluados con un aparato metodológico fuertemente cuantitativo (Gutiérrez, 1985; Fensham, 1988).

Esta didáctica de las ciencias pretende apoyarse en el conocimiento científico generado en disciplinas periféricas, y genera una base de prescripciones, recursos y técnicas de corte claramente metodológico. Es por su fuerte voluntad de intervenir en el aula, más que de ocuparse del desarrollo de conocimiento básico, que podemos caracterizarla como *tecnológica*.

Según Joan Aliberas (1989), esta didáctica de las ciencias tecnológica está caracterizada por una precisa delimitación de sus objetivos y metas. El posterior cuestionamiento de estas metas, a causa del fracaso manifiesto de las acciones destinadas a mejorar el nivel de la educación científica general de la población, desemboca en el colapso del incipiente campo de estudios (Izquierdo, 1990b). El campo resurgirá con identidad propia, basado en un nuevo enfoque que pretende estar cada vez menos ligado a las fuentes teóricas externas. Estará a partir de entonces más preocupado por la *enculturación* científica del ciudadano que por la formación de élites científicas.

### 10.3.1.3 Etapa protodisciplinar

La etapa protodisciplinar va desde el paradigma de las concepciones alternativas hasta la emergencia del constructivismo didáctico de las ciencias

En la década del '70 se genera un consenso acerca de la existencia de un nuevo campo de estudios académicos. Los investigadores en didáctica de las ciencias comienzan a considerarse como miembros de una misma comunidad, que se independiza crecientemente de las disciplinas que la rodean, y que acepta la necesidad de formular problemas de investigación propios y originales.

Estos problemas están ligados inicialmente al aprendizaje de los contenidos específicos de ciencias (principalmente de física). A partir de aquí se verifica una progresiva separación teórica de los tradicionales modelos psicológicos y los nuevos modelos didácticos de las ciencias. Como Laurence Viennot<sup>237</sup> señalará más tarde, el extraordinario empuje que recibió esta línea psicologista fundacional (llamada de las *concepciones alternativas*) pudo deberse a la necesidad de mostrar desde la naciente didáctica de las ciencias logros académicos rápidos y contundentes.

Los estudios de didáctica de las ciencias ganan su reconocimiento en el nivel universitario<sup>238</sup>, aunque generalmente se mantienen en la estrecha periferia de los tradicionales estudios científicos, en forma de especializaciones y postgrados. Sin embargo, la percepción de un colectivo creciente de personas guiadas por los mismos fines es anterior a la identificación de un cuerpo coherente de modelos teóricos que respondan a esos fines. Es por ello que hablamos de una etapa *protodisciplinar*, en la que varias escuelas todavía no suficientemente estructuradas compiten para establecerse como base teórica de la comunidad (Lamb, 1976).

Cada una de estas escuelas trabaja aisladamente de las demás, llegando incluso a desconocer la existencia de las otras. Estas escuelas comienzan a perfilar las diferentes

---

<sup>237</sup> Citada en Gil-Pérez (1994).

<sup>238</sup> Por lo menos en los países líderes del proceso.

líneas que conformarán más tarde la disciplina, así como los variados marcos teóricos externos que convergerán en ella, adaptados y hechos propios, para darle entidad. La competencia conceptual de estas distintas líneas queda plasmada en los numerosos debates a nivel teórico y metodológico que tienen lugar por esos años<sup>239</sup>.

#### 10.3.1.4 Etapa emergente

La etapa emergente está marcada por el auge del constructivismo didáctico de las ciencias

En la década del '80, los didactas de las ciencias comienzan a preocuparse por la coherencia teórica del cuerpo de conocimiento acumulado. Al reconocimiento de la existencia de un conjunto de personas guiadas por la misma problemática, sigue el análisis más riguroso de los marcos conceptuales y metodológicos que deberían conducir la exploración convergente y sistematizada de la problemática didáctica de las ciencias.

Esta autorrevisión, caracterizada por una fuerte *apertura interdisciplinar* (Astolfi y Develay, 1989), desemboca sobre el fin de la década en un consenso creciente acerca de que el *constructivismo didáctico* es la base teórica común a la mayor parte de los estudios del campo (Izquierdo, 1990b; Moreira y Calvo, 1993; Castorina, 1998; Porlán, 1998). A su vez, el enrolamiento masivo de profesores y didactas de las ciencias (a menudo sólo a nivel de discurso superficial: Carretero y Limón, 1997) en las filas de este constructivismo, ha dado paso a un estudio más serio acerca de las posibilidades que tiene este marco de convertirse en un modelo teórico robusto, y de guiar la didáctica de las ciencias a modo de paradigma (Osborne, 1996).

Los diversos autores que revisan esta época caracterizan la didáctica de las ciencias en evolución acelerada como una disciplina *emergente* desde el punto de vista epistemológico (Aliberas et al., 1989; Porlán, 1998), utilizando para ello los llamados modelos *evolucionistas* de dinámica científica (Estany, 1990; Martínez y Olivé, 1997).

---

<sup>239</sup> Uno de los debates más importantes es el que involucra a los didactas de las ciencias Jim Novak y Anton Lawson, representantes de las facciones *ausubeliana* y *piagetiana* respectivamente (Adúriz-Bravo, 1999b).

### 10.3.1.5 Etapa consolidada

La *etapa consolidada* se establece por la generación de modelos teóricos específicos Durante los últimos años, y a pesar de la escasez de estudios de epistemología de la didáctica de las ciencias, existe una opinión más o menos generalizada acerca de la consolidación definitiva de esta disciplina como cuerpo teórico y como comunidad académica (Gil-Pérez, Carrascosa y Martínez Terrades, 2000, 2001; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001a, 2001c).

Por ejemplo, Joshua y Dupin (1993), autores del primer manual universitario de didáctica de las ciencias, para afirmar la situación de consolidación, se basan en la premisa de que la disciplina ha madurado lo suficiente como para poder ser enseñada a su vez. La *enseñabilidad*<sup>240</sup> es vista como un argumento central para sostener la solidez de la disciplina, pues tiene como condición necesaria la existencia de una estructura de coherencia propia, transponible y difundible. Signos de esta enseñabilidad, que muestran la existencia de un discurso comunicable, son la producción de manuales y diccionarios de didáctica, y la estructuración de planes de estudio de postgrado.

El consenso mantenido respecto de la consolidación parece apoyarse, aunque muchas veces no explícitamente, en una serie de indicadores empíricos que dan cuenta de la madurez de la didáctica de las ciencias (Martínez Terrades, 1998; Martínez Terrades et al., 2001). Algunos de estos indicadores son:

1. la cantidad de producciones anuales, que ha crecido exponencialmente (Gil-Pérez, 1996),
2. la consolidación de redes de difusión de resultados a nivel mundial, tales como los importantes congresos en diferentes subespecialidades (Sanmartí, 1995; Martínez Terrades et al., 2001),

---

<sup>240</sup> Podemos conceptualizar esta enseñabilidad como un conjunto de reglas implícitas que tiene la comunidad de la didáctica de las ciencias para hacer públicos sus saberes.

3. el reconocimiento de la didáctica de las ciencias como área de conocimiento específica y como titulación de postgrado (Carrascosa et al., 1997), y
4. fundamentalmente, la creciente complejidad y potencia heurística de varios de los modelos formulados, que comienzan a poseer una estructura ampliamente reconocida como científica, y que se están unificando cada vez más en familias teóricas (Adúriz-Bravo, 1999b; Izquierdo, 1999b).

El *constructivismo* se definiría como un conjunto de modelos específicos de la didáctica de las ciencias. Cabe destacar que estos modelos son *específicos* de la disciplina, como se afirma en la próxima sección. Los modelos didácticos integran sólidamente aspectos psicológicos, pedagógicos y epistemológicos, sin constituir meras adaptaciones de marcos teóricos externos (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001a, 2001c). Conforman lo que podemos llamar el *constructivismo didáctico*.

Otro índice que permite sustentar la disciplinariedad de la didáctica de las ciencias es la creciente aceptación de su autonomía y científicidad por parte de los campos profesionales periféricos (la epistemología, la psicología y la pedagogía: Pozo, 1993).

\* \* \*

La didáctica de las ciencias actual está caracterizada por la integración de los registros epistemológico, psicológico y pedagógico. Consideramos que la evolución general de la didáctica de las ciencias está marcada por un movimiento hacia grados crecientes de integración de las perspectivas teóricas *fuentes* (epistemológica, psicológica y pedagógica), de las que surge una perspectiva didáctica de las ciencias independiente, cada vez menos deudora de las anteriores.

A la crisis de la didáctica de las ciencias de los años '80, que ya mencionamos, se responde de dos maneras diferentes. Por un lado, a través de la conexión teórica que se realiza entre las visiones constructivistas en epistemología y psicología (Aliberas et al., 1989). Por otro lado, a través de una mayor atención a los modelos epistemológicos postkuhnyanos, que superan la identificación de la naturaleza de la ciencia con la *estructura* de la ciencia (Abimbola, 1983; Nussbaum, 1989; Cleminson, 1990).

De esta manera, los referentes epistemológicos de la didáctica de las ciencias han ido tomando creciente distancia de la *concepción heredada*, instalándose primero en la llamada nueva filosofía de la ciencia, que aún hoy es muy citada, y moviéndose en los últimos años hacia las visiones contemporáneas.

Por otra parte, las relaciones de la didáctica de las ciencias con la psicología y con el estudio del aprendizaje también marcan fuertemente las sucesivas etapas de consolidación de la disciplina. Actualmente, el aprendizaje es visto como objeto de estudio de la didáctica de las ciencias en tanto que es una actividad –entre otras– de *gestión* de los saberes científicos en el aula (Adúriz-Bravo, 1999b). Tanto los modelos didácticos como los psicológicos se han tornado *modelos de enseñanza*, pero son distinguibles entre sí por sus intereses teóricos y prácticos, y por la atención que prestan a los contenidos específicos (Pozo, 1993).

Metodológicamente, también se percibe una evolución acelerada de la disciplina. Los modelos cuantitativos son abandonados en favor de los cualitativos, y la metodología general utilizada encuentra su justificación teórica en el marco constructivista (Porlán, 1998). Además, las relaciones bidireccionales que la didáctica de las ciencias mantiene con la psicología y con las ciencias de la educación le permiten enriquecer su *base metodológica* e incorporar y adaptar constructos.

### 10.3.2 Consideraciones epistemológicas

Se postula la <i>autonomía</i> de la didáctica de las ciencias	Desde una perspectiva epistemológica, es posible afirmar que la didáctica de las ciencias no constituye actualmente una parte de la didáctica general, aunque se relaciona crecientemente con ella; tampoco se inscribe estrictamente en el ámbito de las disciplinas pedagógicas (Joshua y Dupin, 1993; Astolfi et al., 1997), aunque podamos identificarla temáticamente con <i>estudios educativos</i> en sentido amplio. Es decir, estamos hablando de un modelo de didáctica de las ciencias como <i>disciplina autónoma</i> (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001c). El propósito de este
--	---

apartado es recoger algunos elementos empíricos y teóricos que permiten sostener este modelo.

Desde el punto de vista teórico, hemos modelizado la disciplinariedad y la autonomía de la didáctica de las ciencias (Adúriz-Bravo, 1999b, 2000d) con el *método de las matrices epistémicas* (Samaja, 1994). Vale decir, hemos usado herramientas epistemológicas, similares a las presentadas en este capítulo, para afirmar la existencia de una matriz disciplinar didáctica de las ciencias (figura 10.6).

Este procedimiento ha supuesto:

1. Identificar algunos de los grandes modelos teóricos de la didáctica de las ciencias, tales como el modelo de *metacognición y autorregulación* (Izquierdo, 1990b, 1999b; Sanmartí, 1995, 2000a, 2000b).
2. Reconstruirlos formalmente con el *modelo cognitivo de ciencia* de Ronald Giere (1992b).
3. Identificar los *conceptores* o ligaduras que enlazan estos modelos, tales como el concepto de *evaluación* (Izquierdo, 1990b, 1999b; Adúriz-Bravo, 1999b).
4. Caracterizar el *núcleo teórico* del cual participan modelos y conceptores, que sería el constructivismo didáctico (Adúriz-Bravo, 1999a).

Este análisis nos ha permitido afirmar que los modelos identificados no pertenecen estrictamente a la pedagogía, la psicología o la epistemología, y además se hallan articulados entre sí formando un *marco* teórico de creciente *autoconsistencia* (Adúriz-Bravo, 1999b).

A partir de su conformación como disciplina científica<sup>241</sup>, la didáctica de las ciencias se ha alejado en forma creciente de la tradicional didáctica metodológica presente en la formación del profesorado de ciencias, estrechamente vinculada a la pedagogía. La didáctica de las ciencias actual se configura como una confluencia de Europa continental con la investigación anglosajona en *science education*, de naturaleza

---

<sup>241</sup> Hacia 1970, en las etapas que llamamos *protodisciplinar* y *emergente*.

curricular y psicologista, más que como una heredera directa de las llamadas *didácticas especiales* de las distintas ciencias<sup>242</sup>.

Esta creciente independencia ha sido explicada por medio de un modelo epistemológico *evolucionista* (Aliberas et al., 1989). La didáctica de las ciencias se ha constituido a partir de las ciencias naturales, saliendo de su propio *cinturón metatéorico* (Adúriz-Bravo, 1999b), y enriqueciéndose con aportes epistemológicos y psicológicos más que pedagógicos. Nuestra disciplina también tomó elementos de diversas disciplinas humanísticas (Peme-Aranega, 1997).

El análisis bibliográfico sostiene nuestro modelo de autonomía. Estos modelos epistemológicos que reseñamos se sostienen a través de diversos elementos empíricos. Uno de ellos es el análisis de las citas bibliográficas en la literatura de la didáctica de las ciencias<sup>243</sup>. Otro índice para apoyarlas es la procedencia de los miembros de la comunidad de investigadores: además de tener titulaciones en las ciencias de base, poseen actualmente escasa formación pedagógica formal.

Con todas estas consideraciones, la visión de la didáctica de las ciencias que presentamos es la de una disciplina por el momento *autónoma*, centrada en los contenidos mismos de las ciencias (esto es, una disciplina de basamento mayormente epistemológico), y nutrida por los hallazgos de otras disciplinas ocupadas de la cognición y del aprendizaje (psicología y ciencia cognitiva).

Esta postura no comporta, sin embargo, suponer que la teorización sobre la enseñanza de una ciencia puede derivarse de la propia ciencia sin más. Así, la didáctica de las ciencias no forma parte estricta de las ciencias naturales<sup>244</sup>. Análogamente, consideramos que la didáctica de las ciencias no se deduce del conocimiento

---

<sup>242</sup> De estas, pueden verse ejemplos en: Bregazzi (1966); Sandin (1967); Spencer y Giúdice (1968).

<sup>243</sup> Por ejemplo, los que hacen Mata y Méndez (1985), López Calafí y otros (1998), Adúriz-Bravo (1999b), Cobern y Loving (2000) y Martínez Terrades y otros (2001).

<sup>244</sup> La didáctica de las ciencias revisa la finalidad de la ciencia que tiene que ver con *dar a conocer* cómo es el mundo; esto la aparta del ámbito restringido de la propia ciencia erudita.



psicológico, aunque la perspectiva cognitiva sea central en la disciplina. Como afirma Juan Ignacio Pozo (1993):

Interesa resaltar que ambos acercamientos –el psicológico y el didáctico– son divergentes no sólo en su tradición histórica, sino también en sus objetivos y enfoques dominantes en el presente. (p. 190)

Pero tampoco el conocimiento didáctico de las ciencias puede ser derivado del didáctico general sin mediaciones, pues la didáctica no es una competencia *formal* que se aplica a todos los contenidos desconociendo su especificidad (de Bartolomeis, 1986). Y por último, nuestra disciplina no surge de la confluencia de una didáctica general y una psicología educacional *con* las ciencias mismas, a modo de campo interdisciplinar de enlace (Fernández Huerta, 1990).

Por todo esto, decimos que la didáctica de las ciencias es una disciplina con carácter propio, con una perspectiva teórica dada por su familia de modelos específicos. Está ricamente conectada con otras, pero las supera, sin constituir una aplicación de modelos teóricos externos a situaciones didácticas particulares.

Se definen los registros de la didáctica de las ciencias Desde su origen, la didáctica de las ciencias se ha apoyado en un abordaje sistemático y teórico de la educación científica (Joshua y Dupin, 1993), para lo cual ha sustentado un enfoque curricular que combina estrechamente los abordajes epistemológico y psicológico (Cleminson, 1990). Más recientemente ha sumado a ellos la perspectiva pedagógica, para completar así los tres registros de la disciplina (Martinand, 1987).

En cuanto a las conexiones teóricas que la didáctica de las ciencias establece con otros campos, existe acuerdo en que la epistemología y la psicología de la educación han provisto los fundamentos de la didáctica de las ciencias, aunque de formas bien diferentes (Sanmartí, 1995). La relación con otras disciplinas sociales (especialmente con la lingüística y la sociología) va en rápido aumento en los últimos años. También se ve un acercamiento sostenido hacia la pedagogía y los estudios educativos en general, dentro de los cuales la didáctica de las ciencias es crecientemente incluida, manteniendo

con ellos una relación de intercambio bidireccional, tanto en el aspecto conceptual como en el metodológico. Finalmente, podemos hablar de relaciones cada vez mayores con otras didácticas específicas (Perales et al., 2001), especialmente con la didáctica de la matemática (Arsac, 1995; Gascón, 1998a).

### 10.3.3 Algunos rasgos de la didáctica de las ciencias

La didáctica de las ciencias actual surge de una convergencia de las tradiciones anglosajona y europea continental

En nuestra presentación de la evolución histórica de la didáctica de las ciencias, situamos el origen de esta disciplina en las reformas curriculares de los últimos años '50. Sin embargo, se pueden encontrar referencias a la didáctica de la física y de la química muy anteriores. Esto no constituye de modo alguno una contradicción. Lo que sucede es que hemos historizado fundamentalmente el desarrollo de la disciplina que se llama *science education*, con la cual confluyeron hacia los años '70 una serie de estudios en Europa continental, que adoptaron para sí mismos la denominación preexistente de didáctica de las ciencias.

Vale decir que, en la configuración de la didáctica de las ciencias, tenemos en cuenta los siguientes elementos caracterizadores de su estado actual:

1. Existen desde antiguo estudios acerca de la enseñanza de las ciencias en la escuela y la universidad. Estos estudios forman parte de la investigación metateórica de las propias ciencias naturales y coexisten con saberes técnicos, *de fuerte carácter metodológico*, acerca de la enseñanza de las ciencias, que se transmiten en el colectivo del profesorado de ciencias.
2. En el mundo anglosajón, la disciplina se conforma en la periferia de las ciencias naturales, hacia la cual convergen sectores de la administración político-educativa, profesorado, representantes de diferentes facciones sociales y aportes disciplinares principales de la teoría curricular y de la psicología de la instrucción. La actividad en esta área está dirigida inicialmente a la innovación curricular.
3. En sus primeros años, el área constituye un *campo de estudios* más que una verdadera disciplina. La falta de entidad disciplinar se refuerza por la ausencia del

término *didáctica* en el ámbito anglófono, que supedita estos estudios a la psicología o a la teoría curricular (Hamilton, 1999).

4. Con tales estudios confluyen más tardíamente (a mediados de los '70) las didácticas específicas europeas continentales que, al comenzar la investigación disciplinar propiamente dicha, se separan en parte de la tradición pedagógica (de corte metodológico) en la que se situaban.
5. En la confluencia de ambos movimientos, la didáctica de las ciencias se desgaja de las ciencias naturales y amplía la apertura interdisciplinar hacia la epistemología, la historia de la ciencia, la sociología, la lingüística y la ciencia cognitiva. Los primeros modelos didácticos de las ciencias tienen una fuerte orientación psicológica, pero que atiende a los contenidos específicos de ciencias.
6. Se produce una crisis del campo, que pone en duda su relación directa con la psicología, su orientación tecnológica, y los fines de la educación científica proclamados en los años '60. Comienzan a perfilarse nuevos fines, nuevos problemas (específicamente didácticos de las ciencias), nuevos instrumentos conceptuales y metodológicos. Se pone en el foco del análisis la relación ciencia-tecnología-sociedad.
7. Tras intensos debates y cierta sensación de parálisis, el campo emerge con un consenso creciente en diversos ámbitos teóricos acerca de su consolidación (años '90). Este consenso es empujado por el impresionante crecimiento de la producción académica en la didáctica de las ciencias.

Con este esquemático cuadro evolutivo es posible resignificar nuestra presentación de la didáctica de las ciencias en cinco etapas, y reconocer las distintas tradiciones que confluyen en nuestra disciplina. También hemos pretendido enfatizar aquí que, aunque la didáctica de las ciencias actual es una disciplina con fuertes bases teóricas y un cuerpo de investigadores altamente internacionalizado, aún conserva trazas de los dos movimientos confluyentes que le dieron origen: las reformas curriculares anglosajonas y las innovaciones metodológicas europeas continentales (Lijnse, 2000).

#### 10.4 El desarrollo del currículo de ciencias como una actividad tecnológica de la didáctica de las ciencias<sup>245</sup>

Se recupera el modelo tecnocientífico de la didáctica de las ciencias (sección 10.1)

Tomando como hipótesis de partida que la didáctica de las ciencias es una disciplina autónoma y consolidada de naturaleza metacientífica, interesa ahora explorar las diversas componentes que la conforman. En esta sección, por tanto, se expande una de las líneas del modelo tecnocientífico que hemos propuesto para la didáctica de las ciencias. Partimos de la siguiente idea: que la actividad de *desarrollo curricular* en ciencias en una actividad tecnológica cuya *base de referencia* son los modelos teóricos que forman la dimensión científica de la didáctica de las ciencias.

Tradicionalmente, el diseño curricular en el área de ciencias naturales era llevado a cabo por científicos de las diversas disciplinas de contenido (física, química y biología, principalmente). La tarea principal del proceso de diseño era la selección de los *contenidos disciplinares* a enseñar. Estos contenidos determinaban subsecuentemente los objetivos a alcanzar y las actividades a realizar en la clase de ciencias (Duschl, 2000b, 2000c). El diseño curricular estaba casi completamente inspirado en la *estructura* de coherencia de la ciencia erudita.

En los últimos cincuenta años ha habido una verdadera revolución en el desarrollo curricular en ciencias, influenciada por las revoluciones que se dieron paralelamente en otras disciplinas:

1. en la *psicología educativa*, desplazada desde las aproximaciones clásicas piagetianas y ausubelianas hacia las nuevas perspectivas cognitivas y sociales, y
2. en los *estudios sobre la ciencia (science studies)*, en los cuales la inclusión de elementos de carácter histórico y cognitivo ha provocado una importante transformación (Giere, 1986).

---

<sup>245</sup> Esta sección sigue de cerca el texto de uno de nuestros trabajos (Adúriz-Bravo, Duschl e Izquierdo, en revisión).

Uno de los objetivos fundamentales de los nuevos modelos de currículo de ciencias, ejemplificado elocuentemente por los proyectos de la National Science Foundation y la Nuffield Foundation en los años '60, fue sacar la ciencia escolar de los libros de texto y llevarla al laboratorio, potenciando el proceso de *descubrimiento* y el papel de la *investigación* en la educación científica.

Otros varios cambios participaron de este movimiento de prioridades. El foco epistemológico, por ejemplo, se desplazó desde la *justificación* hacia la *comprensión* de la ciencia. Este cambio estuvo acompañado por un creciente énfasis en la *reestructuración* más que en la *comprobación* teórica (Duschl, 1997), y por un acercamiento *discursivo* a la dinámica de la clase de ciencias, alineado con las actuales visiones cognitivas y sociales de la ciencia escolar (Kelly y Green, 1997; Izquierdo, 2000b, en prensa-b; Martins, 2000a, 2001).

El desarrollo curricular en ciencias se enfoca sobre la actividad científica escolar

La cuestión que guía el desarrollo curricular puede ser descrita en nuestros días como: ¿qué es lo que queremos que nuestros estudiantes *hagan* en la clase de ciencias, y qué necesitan saber para hacerlo? (Duschl, 1998, 2000b, 2000c). Esto es, la aproximación actual al desarrollo curricular en ciencias se enfoca en la ciencia escolar como *actividad*, integrando los procesos cognitivos, epistémicos, discursivos, materiales y sociales.

Desde este punto de vista, los contenidos científicos deberían ser adecuados a objetivos más generales, bien distintos del conocimiento factual y memorístico de esos contenidos. Tales objetivos pueden ser, entre otros, alcanzar las capacidades de evaluar críticamente las proposiciones científicas y entender las relaciones entre esas proposiciones y la *evidencia* disponible (Osborne, 1999; Duschl y Ellenbogen, 2001).

Hay diferentes disciplinas académicas a las cuales se puede recurrir para la tarea de responder aquella cuestión curricular; principalmente, la epistemología, la psicología y la pedagogía. La importancia relativa que se ha dado a estas disciplinas ha variado a lo largo del siglo pasado. En los primeros años del siglo XX, la pedagogía constituía el

marco teórico central para la enseñanza de las ciencias. Posteriormente, la epistemología y la psicología se disputaron el lugar de marco guía hasta los años '80, cuando se consiguió proponer un marco teórico unificador bajo la denominación amplia de *constructivismo* (Cleminson, 1990).

Con la consolidación de la didáctica de las ciencias como disciplina emergente, a inicios de los años '80 (Astolfi, 1993; Gil-Pérez, 1996; Porlán, 1998), comenzó a haber disponible una cantidad importante de investigaciones empíricas y desarrollos teóricos. Este cuerpo de conocimiento fundamentó hasta cierto punto el proceso de desarrollo de los currículos nacionales de ciencias en muchos países, entre los cuales se cuentan España (Jiménez Aleixandre y Sanmartí, 1995), los Estados Unidos (Duschl, 1994) y Argentina (Meinardi et al., en prensa). Una nueva comunidad de especialistas, los *didactas de las ciencias*, se incorporó a los grupos de desarrollo curricular. Los didactas de las ciencias proveyeron los criterios unificadores que compatibilizan los lineamientos teóricos provenientes de las tres disciplinas mencionadas más arriba, y de otras tales como la sociología, la antropología y la lingüística.

Con el foco principal del desarrollo curricular en ciencias desplazado desde los contenidos hacia las actividades y los objetivos de la educación científica, es posible comenzar a desarrollar modelos de ciencia escolar que presten atención a los aspectos epistemológicos, psicológicos y pedagógicos en una forma más equilibrada e integrada. Nosotros hemos sugerido (Adúriz-Bravo, Duschl e Izquierdo, en revisión) que la didáctica de las ciencias actual provee modelos teóricos robustos que:

1. integran los registros epistemológico, psicológico y pedagógico considerando los aspectos *cognitivos*, *epistémicos* y *sociales* de la actividad científica escolar (Izquierdo, 2000b),
2. hacen posible una *fundamentación epistemológica* de la ciencia escolar (Izquierdo, 1995a, 1995b; Izquierdo y Adúriz-Bravo, en prensa) que sienta los lineamientos para la toma de decisiones en muchos aspectos importantes de la educación científica (por ejemplo, el rol de la evidencia, el método científico y la explicación, el discurso en el aula, la práctica de laboratorio),
3. prestan atención al rol que juegan el *debate*, la *comunicación* y la *argumentación* en la educación científica (Duschl, 1998, 2000b; Jiménez Aleixandre, 1998), y

4. proporcionan una imagen más equilibrada de la naturaleza de la ciencia, que incorpora algunos rasgos del constructivismo didáctico manteniéndose al mismo tiempo *realista* y *racionalista* (Adúriz-Bravo, 2000c; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2000a)<sup>246</sup>.

La perspectiva cognitiva permite la integración de registros en la didáctica de las ciencias

Los nuevos modelos de desarrollo curricular incorporan crecientemente algunas ideas teóricas provenientes de la didáctica de las ciencias, entre ellas: el uso instrumental de las metaciencias, las unidades didácticas basadas en la resolución de *problemas*, y el análisis de la argumentación y la retórica en el aula de ciencias. Nuestra postura teórica parte de argumentar que el cambio del foco del desarrollo curricular desde la *selección de contenidos* hacia el *planteamiento de objetivos* para la educación científica hace posible la integración de los tres registros de la didáctica de las ciencias, a partir de un acercamiento *cognitivo* a la epistemología, la psicología y la pedagogía que atiende al concepto de *modelización científica*<sup>247</sup>.

Creemos que los didactas de las ciencias y los profesores de ciencias, más que los científicos naturales u otros especialistas, deberían ser los protagonistas principales en el desarrollo de un currículo de ciencias basado en los modelos teóricos de la didáctica de las ciencias. En el próximo capítulo recogemos, para los futuros profesores de ciencias, tres propuestas de investigación e innovación recientes que pueden ser consideradas de interés dentro de la didáctica de las ciencias, y que proporcionan apoyo a esta afirmación.

Prestamos particular atención a aquellos modelos teóricos de la didáctica de las ciencias que son coherentes con una transformación eficaz de la educación científica. Para

---

<sup>246</sup> Esto último es de gran importancia para la educación científica actual, en vista de los fuertes movimientos *anticientíficos* que están muy difundidos en la sociedad y en la escuela.

<sup>247</sup> Recuérdese que el proceso de modelización científica es descrito en nuestra tesis desde una perspectiva *cognitiva* (Coffa, 1991; Giere, 1986, 1992a, 1992b; Suppe, 2000). Buscamos así que nuestra idea de modelo teórico sea compatible con otras sostenidas actualmente en la psicología y la pedagogía.

nosotros, el desarrollo curricular en ciencias puede ser visto como una compleja práctica tecnológica, o de *diseño*, que se fundamenta en esos modelos didácticos (Estany e Izquierdo, en prensa). Esto es, el desarrollo curricular, en su nivel de concreción más bajo, es una actividad práctica diaria en el aula de ciencias que echa mano del conocimiento proveniente de la didáctica de las ciencias.

Se resume  
la sección

En el primer apartado esbozamos lo que hemos dado en llamar un modelo *multidimensional* de la didáctica de las ciencias, en el cual se identifican distintas componentes que interactúan entre sí.

El segundo apartado está dedicado a explorar, entre ellas, la componente *teórica*, que es aquella relativa al desarrollo de modelos teóricos *originales* en un nivel general, válido para las distintas ciencias naturales.

Entre los modelos didácticos actuales, consideramos que el *modelo cognitivo de ciencia escolar* (Izquierdo, Espinet et al., 1999; Izquierdo, 2000a; Izquierdo y Adúriz-Bravo, en prensa) es uno de los más sugerentes. El modelo cognitivo de ciencia escolar encara la ciencia en la escuela como una actividad cognitiva, epistémica y social, conectando así con ideas provenientes de otras muchas disciplinas concernidas en el estudio de la educación científica. Este modelo, adaptado de la epistemología cognitiva, provee una fundamentación epistemológica para la educación científica, debido a su concepción *representacional* del conocimiento científico, esto es, una concepción enfocada más en cómo las teorías científicas son entendidas, utilizadas y difundidas por los científicos y los estudiantes, que en cómo ellas están constituidas internamente o definidas formalmente.

El tercer apartado conceptualiza el desarrollo curricular como una actividad tecnológica basada en modelos teóricos de la didáctica de las ciencias; esta actividad involucra de lleno a los profesores de ciencias. Usamos una analogía con otras actividades tecnológicas, como la medicina y la ingeniería. Como resultado de esta visión de la didáctica de las ciencias, reconocemos la importancia estratégica de los programas de investigación situados en el aula de ciencias y llevados a cabo en colaboración con el profesorado de ciencias.



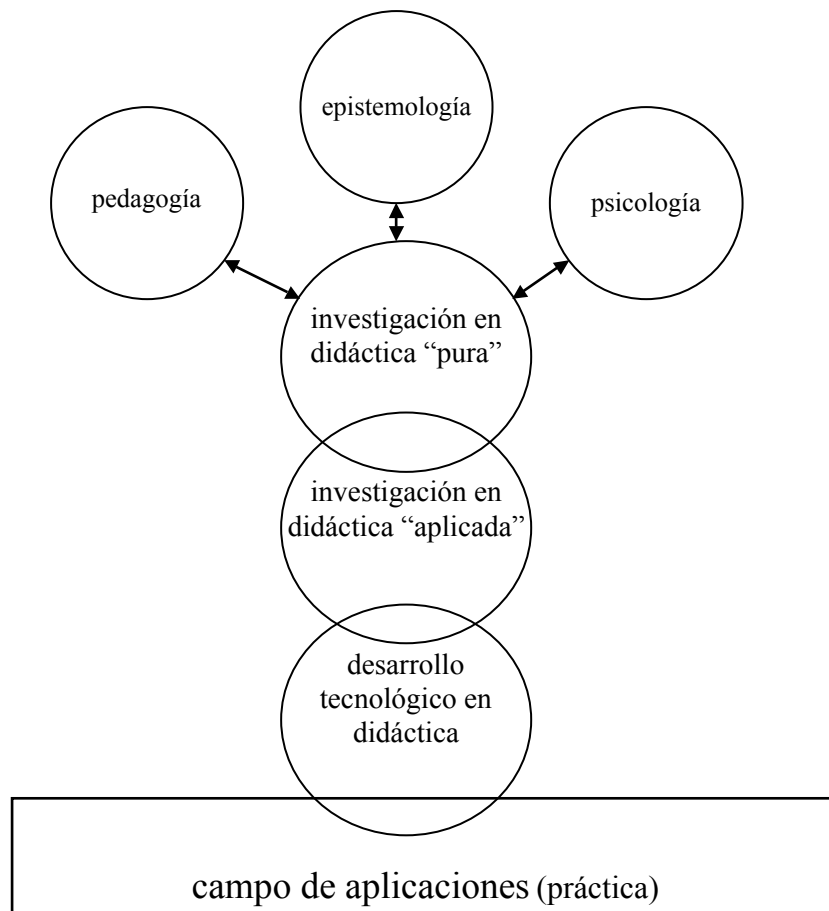
#### 10.4.1 *Un modelo dinámico para la didáctica de las ciencias*

Se recuperan las diferentes visiones acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina (sección 10.3) Como ya se indicó, la naturaleza de la didáctica de las ciencias como disciplina es objeto de intenso debate académico. Algunos didactas de las ciencias consideran que nuestro campo es una ciencia social, junto con otros estudios educacionales tales como la sociología y la historia de la educación. Otros autores ven la didáctica de las ciencias más como una tecnología dirigida a intervenir extensivamente en la educación científica; en este sentido, se ha desarrollado toda una *ingeniería didáctica* en Francia (Tiberghien, 1985). Finalmente, algunos autores ubican la didáctica de las ciencias entre las humanidades, enfocándose en sus aspectos filosóficos y sus conexiones con cuestiones educativas más generales (Bliss, 1995).

Estas visiones contrapuestas sobre la didáctica de las ciencias se deben en parte a las concepciones implícitas de ciencia que los distintos autores sustentan (Brousseau, 1989, 1990), y que pueden corresponder en mayor o menor medida a un modelo epistemológico limitado, inspirado principalmente en la física. Pero estas visiones también se deben a que los diversos autores examinan *distintos* aspectos de la didáctica de las ciencias como práctica profesional.

##### 10.4.1.1 La didáctica de las ciencias como un conjunto de actividades interrelacionadas

La didáctica de las ciencias agrupa actividades científicas y tecnológicas Consideramos la didáctica de las ciencias como un conjunto de actividades, que van desde la investigación científica per se hasta la práctica de la educación científica (figura 10.14). Estas actividades son llevadas a cabo por diversos grupos de actores en diferentes escenarios. Pero puede argumentarse que estos actores y escenarios se están relacionando fuertemente en los últimos tiempos, compartiendo crecientemente un cuerpo teórico común, el constructivismo didáctico de las ciencias.



**Figura 10.14** Con el nombre de *didáctica de las ciencias* referimos a un conjunto de actividades tecnocientíficas diversas e interrelacionadas. Por un lado, hay una producción teórica en cierta manera desconectada de la práctica real del aula de ciencias, y en constante intercambio con otras disciplinas afines. En segundo lugar, hay investigación teórica enfocada sobre diferentes aspectos de la educación científica. En tercer lugar, hay un desarrollo tecnológico en variados ámbitos. Por último, la educación científica en tanto que práctica es el campo de aplicación de estos saberes didácticos de las ciencias.

De acuerdo con este modelo, la finalidad última de la didáctica de las ciencias como actividad es la mejora de la educación científica en todos sus aspectos. Para conseguir esta mejora, se ha desarrollado una creciente división y especialización de tareas: la actividad didáctica de las ciencias actual se desarrolla en diferentes ámbitos.

Por una parte, tenemos una investigación didáctica “pura”, que desarrolla modelos teóricos originales sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. Estos modelos atienden a los cuatro vértices del *sistema didáctico* (profesor, estudiantes, contenido, contexto) y a las relaciones entre ellos. Ejemplos de este tipo de investigación serían algunos modelos instruccionales secuenciales e independientes de los contenidos, tales como el modelo *generativo* (Giordan, 1982, 2000; Osborne y Wittrock, 1985).

Se recupera la idea de los registros en la actividad científica de la didáctica de las ciencias Hemos sugerido (Adúriz-Bravo, 1999b; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001a, 2001c) que esta dimensión científica de la didáctica de las ciencias integra tres perspectivas teóricas convergentes, o *registros*<sup>248</sup>: el epistemológico, el psicológico y el pedagógico. Cada uno de los registros se corresponde grosso modo con el énfasis en uno de los elementos del sistema didáctico<sup>249</sup>. Este metamodelo de la didáctica de las ciencias es lo que Richard Duschl ha denominado el *modelo de las tres P*<sup>250</sup> (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001a).

Al lado de la investigación pura, hay otros tipos de investigación más específicos, basados en el aula de ciencias. Esto correspondería a lo que en epistemología se ha llamado tradicionalmente investigación “aplicada”. El estudio de las concepciones alternativas en un dominio, y el desarrollo de protocolos de encuesta y entrevista, serían ejemplos elocuentes de esta categoría.

En un nivel aun más aplicado, encontramos la investigación y el desarrollo tecnológicos en la didáctica de las ciencias. Estos están dirigidos a efectuar una intervención *directa* en situaciones reales de educación científica, tales como las clases y los currículos de ciencias en todos los niveles educativos. El diseño del currículo de ciencias a nivel nacional, la escritura de libros de texto de ciencias, y el desarrollo de material didáctico

---

<sup>248</sup> El nombre de *registro* lo hemos tomado de Jean-Louis Martinand (1987).

<sup>249</sup> Podemos tomar el registro pedagógico en sentido amplio para incluir también las perspectivas lingüística y sociológica.

<sup>250</sup> En inglés, *philosophy, psychology* y *pedagogy*.

en el departamento de ciencias de una escuela, son tres ejemplos muy diferentes de esta práctica tecnológica.

Se recupera la idea de los profesores de ciencias como *tecnólogos*

Destacamos que, de acuerdo con este metamodelo de didáctica de las ciencias, los profesores de ciencias pueden ser vistos como *tecnólogos* involucrados en la producción de conocimiento didáctico de las ciencias novedoso en contextos concretos. Esto implica un gran cambio en el rol tradicional de *ejecutores (deliverers)* que se atribuyó a los profesores de ciencias desde la investigación en didáctica de las ciencias.

Compárese nuestro esquema de la didáctica de las ciencias con la concepción similar, en tres niveles, que César Coll (1988) plantea para la psicología de la educación. Por su parte, Rafael Porlán (1998) y Mariona Espinet (1999) también proponen sendos modelos para la didáctica de las ciencias que articulan en su interior diferentes actividades profesionales y distintas clases de saberes.

#### 10.4.1.2 La didáctica de las ciencias y el desarrollo curricular

En el seno de este metamodelo de didáctica de las ciencias, el proceso de desarrollo curricular en todos sus niveles de concreción se interpreta, por una parte, como investigación aplicada y tecnológica, y por otra parte, como la aplicación tecnológica de los modelos teóricos de la didáctica de las ciencias en:

1. el diseño de materiales didácticos, incluidos los libros de texto,
2. la práctica en el aula y el laboratorio de ciencias,
3. la evaluación, y
4. la formación del profesorado de ciencias.

La didáctica de las ciencias puede ser vista como *ciencia de diseño*

La didáctica de las ciencias puede ser considerada entonces como una *ciencia de diseño* (Estany e Izquierdo, en prensa), que tiene su propio cuerpo de conocimiento científico (los modelos teóricos), y busca adaptar este conocimiento, modificado mediante fuertes consideraciones contextuales, a situaciones

específicas dentro de la educación científica. La didáctica de las ciencias funcionaría así como otros campos tecnológicos, tales como la medicina o la ingeniería, que se mueven desde una base de conocimiento científico (en parte diseñada específicamente y en parte importada de otras disciplinas) hacia una práctica profesional fundamentada teóricamente.

#### 10.4.2 *La componente científica de la didáctica de las ciencias*

La didáctica de las ciencias tiene sus propios modelos teóricos

Muchos modelos didácticos de las ciencias son específicos, esto es, no pueden ser *reducidos* a una mera adaptación de modelos teóricos externos al campo de la educación científica. Incluso si están formulados usando y adaptando ideas teóricas de otras disciplinas, los modelos didácticos están contruidos de manera tal de ajustarse pragmáticamente a situaciones específicas de la educación científica, mediante una perspectiva conceptual definida que difiere de las de otras disciplinas.

Hay muchos ejemplos de modelos teóricos que son considerados por los didactas de las ciencias como el cuerpo de conocimiento establecido de su propia disciplina; estos modelos aparecen laxamente agrupados bajo la etiqueta amplia de *constructivismo didáctico de las ciencias* (Adúriz-Bravo, 1999b; Izquierdo, 1999b). Otras comunidades académicas ven este conocimiento como una creación original y específica de la didáctica de las ciencias, que no admite ser reducida a los marcos teóricos externos (Pozo, 1993).

##### 10.4.2.1 El modelo cognitivo de ciencia en la didáctica de las ciencias

Se hace referencia al *modelo cognitivo de ciencia escolar* (capítulo 12)

Entre los modelos didácticos disponibles actualmente, consideramos que el *modelo cognitivo de ciencia escolar* (Izquierdo, 1992, 1995a, 1995b; Izquierdo, Espinet et al., 1999; Izquierdo y Adúriz-Bravo, en prensa) es promisorio en términos de generar mejoras en la educación científica. Esto es así porque este modelo es compatible simultáneamente con las

orientaciones cognitivas de la epistemología, la psicología y la pedagogía. El modelo cognitivo de ciencia escolar provee un puente con la ciencia erudita porque centra la atención en los aspectos *pragmáticos* del conocimiento científico.

El modelo cognitivo de ciencia escolar se apoya en la concepción basada en modelos. La orientación cognitiva en la epistemología contemporánea acercó la reflexión metateórica a las disciplinas empíricas, incluyéndola en el campo amplio de la *ciencia cognitiva*. Esto generó modelos de conocimiento científico que lo relacionan con otros tipos de conocimiento. Este cambio en la epistemología se produjo como una *tercera vía* en el intenso debate entre las visiones fuertemente relativistas de la sociología de la ciencia y la racionalidad rígida y normativa de la filosofía analítica.

La concepción basada en modelos se inscribe en una visión *semántica* de la ciencia (Giere, 1988, 1992b; Suppe, 1979, 1989). La visión semántica considera que las teorías representan aspectos del mundo por medio de mecanismos *analógicos*; las teorías son explicativas desde el momento en que son *similares* a aquellos aspectos de la realidad que necesitan ser explicados. El *acercamiento cognitivo* al estudio de la ciencia provee una sólida base para establecer relaciones fructíferas entre las metaciencias y otras disciplinas del área de la ciencia cognitiva (Gooding, 1992; Nersessian, 1992).

La concepción basada en modelos retrata la ciencia como una actividad compleja dirigida a dar sentido al mundo. Tanto los factores *cognitivos* como los factores *sociales* participan de la configuración *epistémica* de la actividad científica. Las teorías son consideradas como las entidades más importantes de las ciencias, pero no son vistas como sistemas axiomáticos<sup>251</sup>, sino que se identifican con sistemas analógicos.

Un modelo puede ser definido por medio de diversos lenguajes (natural, simbólico, matemático, gráfico, metafórico). Esta concepción amplia de modelo es suficientemente versátil, y permite la integración de muchas perspectivas disciplinares diferentes acerca del proceso de *modelización*. Por ejemplo, esta concepción de modelo se ajusta bien a las diversas categorías presentes en las taxonomías propuestas por Castro (1993), Greca

---

<sup>251</sup> Es decir, sistemas estrictamente deductivos a partir de primeros principios.

y Moreira (1998), Erduran (1999b), Harrison y Treagust (2000), y Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001), a saber: modelo teórico, modelo pedagógico (didáctico), modelo análogo y modelo mental.

Se recupera la aportación de Ronald Giere para la didáctica de las ciencias

La concepción basada en modelos es útil para estudiar el desarrollo teórico en la ciencia escolar. La contribución de Ronald Giere (1992b), específicamente centrada en las *relaciones* modélicas entre conocimiento y realidad, es particularmente útil en este sentido. Giere sustituye las relaciones clásicas de correspondencia y convención por la de *similaridad*.

La idea de las teorías como familias de modelos (figura 10.4) provee una caracterización *flexible* de las disciplinas científicas que es especialmente adecuada a la historia reciente de la didáctica de las ciencias. Esta flexibilidad establece un panorama adecuado para entender el rol de los profesores de ciencias como tecnólogos.

#### 10.4.2.2 Un modelo cognitivo para la ciencia escolar

Se remite al modelo de ciencia como *explicación* teórica (sección 10.1)

Si aceptamos que uno de los objetivos principales de la educación científica es enseñar a *pensar teóricamente* (esto es, a través de modelos) sobre el mundo, esto nos lleva a preguntarnos cómo sería la ciencia escolar desde el punto de vista cognitivo (Izquierdo, 1995b). La concepción basada en modelos nos da una respuesta general: lo más importante de las teorías científicas escolares no es su representación formal; por lo tanto, el objetivo central de la ciencia escolar no puede ser aprender esa representación.

La concepción basada en modelos mantiene que las teorías científicas tienen como función principal permitir la comprensión del mundo; si esta función no es satisfecha, las teorías tienen poco valor en la educación científica. Esta concepción también nos muestra que los hechos del mundo deben ser *reconstruidos* en el seno de los modelos

teóricos para tener verdadero sentido, tanto en la ciencia erudita como en la ciencia escolar (Izquierdo, 1994a; Duschl, 1997, 2000c).

Remitimos a la fundamentación epistemológica de la ciencia escolar (capítulo 12)

La idea central del modelo cognitivo de ciencia escolar es que la actividad científica escolar es un proceso de atribución de sentido al mundo a través de modelos teóricos. Estos modelos, y los hechos reconstruidos por ellos, constituyen la ciencia escolar, similar en muchos aspectos a la ciencia erudita. Pero la ciencia escolar está caracterizada por los valores de la educación científica para todos; en este sentido, es hasta cierto punto *independiente* de la ciencia erudita. Esto abre un campo de acción muy amplio al profesorado de ciencias.

#### 10.4.3 *El desarrollo del currículo de ciencias como una tecnología*

Se recupera la tesis de este trabajo (capítulo 1)

Este apartado esboza la tesis de que la didáctica de las ciencias ha llegado a un estadio de consolidación tal que le permite fundamentar teóricamente la educación científica. La didáctica de las ciencias como tecnología refiere, en este sentido, a una intervención activa en el mundo, dirigida a transformarlo con la ayuda de un conjunto de modelos teóricos, adaptados a diversos contextos específicos<sup>252</sup>.

Este metamodelo de didáctica de las ciencias hace que los profesores de ciencias se acerquen a otros tecnólogos, como los médicos e ingenieros. La medicina y la ingeniería, en tanto que tecnociencias, tienen sus comunidades profesionales a menudo divididas entre quienes practican la profesión y quienes hacen investigación científica para aumentar el cuerpo de conocimiento que puede ser usado en esa práctica; pero esta especialización no significa que las dos secciones de la comunidad estén divididas, o que un mismo individuo no pueda participar de ambas.

---

<sup>252</sup> Nuestra concepción de la tecnología ha sido explicada en la primera parte de la tesis y en la primera sección de este capítulo.



Se plantea una *analogía* entre los profesores de ciencias y los ingenieros o los médicos

Lo mismo puede suceder en la didáctica de las ciencias, si consideramos las clases de ciencias como fuente de problemas de investigación y de ámbitos de experimentación. En este panorama de ideas, los profesores de ciencias serían tecnólogos que practican su profesión usando el cuerpo establecido de conocimiento didáctico desarrollado por ellos mismos y por los didactas de las ciencias universitarios, en la misma comunidad profesional.

*Se plantea*  
el objetivo  
de la  
segunda  
aplicación

El campo de la epistemología de la didáctica de las ciencias genera problemas de investigación válidos para tratar dentro de la propia disciplina (Izquierdo, 1990b; Porlán, 1998; Adúriz-Bravo, 1999b; Gil-Pérez, Carrascosa y Martínez Terrades, 2000), y relevantes para la formación del profesorado de ciencias. Entre ellos se cuentan los problemas expuestos en el capítulo anterior. El objeto de esta segunda aplicación es que los futuros profesores de ciencias, basándose en esos problemas, exploren el modelo tecnocientífico de la didáctica de las ciencias a lo largo de dos líneas:

1. la modelización del *desarrollo curricular en ciencias* como una tecnología, y
2. la caracterización del *profesor de ciencias* como un tecnólogo.

Para ello, proponemos al profesorado de ciencias en formación que analice tres ejemplos paradigmáticos de investigación e innovación en la didáctica de las ciencias, a fin de ver hasta qué punto admiten una lectura con el marco conceptual recogido en el capítulo anterior. Esto es, se trata de evaluar, dentro de un esquema de racionalidad hipotética, el grado de adecuación entre los modelos epistemológicos que sugerimos para la didáctica de las ciencias y las características reales de la propia actividad didáctica de las ciencias, puestas de manifiesto en los ejemplos.

Se resume  
el capítulo

En la primera sección enunciamos un problema clásico de la epistemología de la didáctica de las ciencias, que consideramos muy potente para la formación epistemológica inicial del profesorado de ciencias. Se trata de la cuestión de la *demarcación* de la didáctica de las ciencias. Proponemos a los futuros profesores de ciencias que comparen dos modelos

metateóricos conocidos acerca de nuestra disciplina: el modelo anglosajón y el modelo europeo continental.

La segunda sección es la que se concentra más específicamente en el modelo tecnocientífico, mostrando en forma explícita al profesorado de ciencias su utilización para la valoración de propuestas didácticas. Este objetivo es particularmente importante en la actualidad, dada la ingente cantidad de materiales prácticos que se están difundiendo desde nuestra disciplina. Deseamos que las herramientas conceptuales puestas en esta tesis a la consideración de los profesores de ciencias contribuyan a su profesionalización.

La tercera sección presenta un trabajo colaborativo, llevado a cabo en el CEFIEC de la Universidad de Buenos Aires, que combina la investigación y la innovación didácticas y la formación inicial del profesorado de ciencias, utilizando para ello varias de las ideas desarrolladas en esta segunda aplicación<sup>253</sup>. Este trabajo puede funcionar entonces a modo de instancia de *validez consecucional* para nuestro aparato conceptual, proporcionando un foro para debatir ese aparato y un ámbito para contrastarlo empíricamente.

La última sección destaca algunos elementos de la segunda aplicación, tanto en la línea de su validez, como en la línea de las posibles derivaciones.

### 11.1 Un problema epistemológico de la didáctica de las ciencias

Retomamos los <i>debates epistemológicos</i> acerca de la didáctica de las ciencias para la formación del profesorado de ciencias	La cuestión del estatuto académico de la didáctica de las ciencias suscita debates en los cuales se mezclan las cuestiones teóricas con otras de naturaleza institucional, política y económica. Creemos que algunos de estos debates son valiosos para la formación del profesorado de ciencias (Brousseau, 1990). Pero muchas veces se dan respuestas <i>normativas</i> a la cuestión epistemológica, más influenciadas por las convicciones
---	--

---

<sup>253</sup> Los resultados preliminares de este trabajo, que continúa en marcha, se exponen en diversas publicaciones enumeradas más abajo.

ideológicas de los participantes en los debates que basadas en un análisis epistemológico de la disciplina.

Actualmente resulta difícil sostener que la didáctica de las ciencias se encuentra en relación de dependencia con cualquier otra disciplina, sean las propias ciencias naturales, la psicología o la pedagogía<sup>254</sup>. Esto es así por la alta especificidad y originalidad de los modelos teóricos que la didáctica de las ciencias formula, la formación peculiar de sus investigadores, y las singulares características metodológicas de la investigación que se lleva a cabo en este campo.

Por otra parte, se soslaya muchas veces la cuestión anterior hablando de la didáctica de las ciencias como un campo interdisciplinar. Esta tampoco resulta una solución satisfactoria desde el punto de vista epistemológico. Actualmente existe un cuerpo específico de investigadores que se reconoce como tal, que lleva adelante investigaciones de naturaleza claramente disciplinar y que posee sus instancias de difusión propias. En todo caso, la misma *educación científica* es el campo de problemas estudiado de forma interdisciplinar por didactas de las ciencias, pedagogos, psicólogos, epistemólogos y otros profesionales.

El análisis de las relaciones entre la didáctica de las ciencias y otras disciplinas, se propone como actividad de formación del profesorado de ciencias	Sostener la disciplinariedad y la autonomía de la didáctica de las ciencias tiene consecuencias importantes sobre la comprensión de las relaciones que ella mantiene con otras disciplinas académicas. El estudio de estas relaciones conceptuales constituye otro aspecto fundamental del análisis epistemológico, ya abordado por muchos autores <sup>255</sup> , que puede arrojar luz sobre la naturaleza de la didáctica de las ciencias.
--	--

---

<sup>254</sup> Esta afirmación no significa desconocer la creciente integración de la didáctica de las ciencias en los estudios educacionales. En efecto, nuestra disciplina figura cada vez más frecuentemente en compilaciones generales sobre la enseñanza, y participa del área en lo que se refiere a cuestiones tales como subsidios y evaluaciones externas.

<sup>255</sup> Entre ellos: Aliberas et al. (1989); Sanmartí (1995); Eder y Adúriz-Bravo (2000); Gil-Pérez, Carrascosa y Martínez Terrades (2001).

En particular, creemos que es conveniente que los futuros profesores de ciencias presten atención a las relaciones que la didáctica de las ciencias mantiene –y las que debería mantener– con otras disciplinas, muy especialmente, con las diversas ciencias de la educación. Es por ello que proponemos un uso *didáctico* de nuestra taxonomía de las relaciones entre la didáctica de las ciencias y la epistemología (Adúriz-Bravo, 2001e).

Esta sección está dedicada a establecer para los futuros profesores de ciencias el problema de la ubicación de la didáctica de las ciencias en la *episteme*<sup>256</sup>, entre las diversas empresas racionales (Aliberas et al., 1989). Se hace la llamada *demarcación* a partir de un panorama teórico complejo, en el cual son necesarios diversos elementos para caracterizar la naturaleza de la disciplina, separarla de las otras, y dar cuenta de sus relaciones conceptuales.

Se propone a los profesores de ciencias comparar el modelo anglosajón y el modelo europeo continental sobre la didáctica de las ciencias	En trabajos anteriores (Adúriz-Bravo, 1998b, 1999b) propusimos al profesorado de ciencias la comparación entre dos metamodelos sobre la didáctica de las ciencias que están implícitos en sendas aportaciones alrededor del tema de la <i>evaluación</i> , debidas a Paul Black (1998) y Neus Sanmartí (1998). El primero de estos autores trabaja con un modelo implícito de didáctica de las ciencias que retrata nuestra disciplina como una <i>aplicación</i> de modelos teóricos externos al campo de la educación científica. La segunda autora, en cambio, se basa probablemente en un modelo que considera la didáctica de las ciencias como una <i>adaptación</i> de teorías externas al objeto de la educación científica.
--	--

El primer metamodelo se corresponde con la visión anglosajona de la didáctica de las ciencias, de fuerte filiación curricular, y que enfatiza la *interdisciplinariedad*:

My own field of study is loosely connected under the vague heading ‘teaching and learning of physics’ around which research and development and analytical work is

---

<sup>256</sup> El espacio de todas las disciplinas.

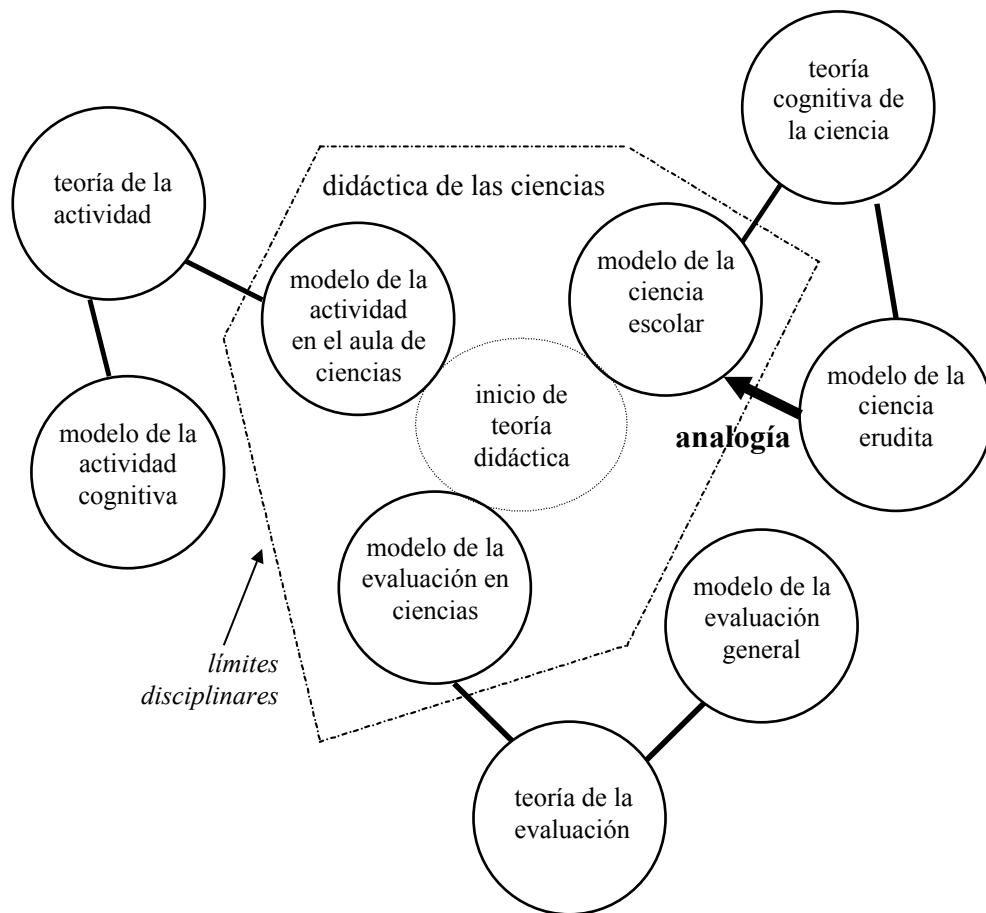
centered. It is an interdisciplinary area of interest without a clearly developed research paradigm. (Jung, 1993: 31)

El segundo metamodelo tiene una honda tradición en la investigación europea continental (latina, germánica, escandinava, griega y eslava) (Hamilton, 1999; Lijnse, 2000).

Compatibilizamos ambos modelos usando el *análisis estructural* de la didáctica de las ciencias (sección 10.1) Nosotros creemos que estos dos metamodelos de la didáctica de las ciencias (que a menudo subyacen a muchos trabajos, aunque no explicitados del todo) pueden ser subsumidos en una única visión, utilizando el enfoque epistemológico presentado en el capítulo anterior. Para ello, recordamos los siguientes puntos que ya hemos desarrollado:

1. *Concebimos la didáctica de las ciencias como una disciplina tecnocientífica autónoma, con límites más o menos delineados.*
3. *Consideramos el modelo didáctico (y no la teoría) como la unidad estructural y funcional de la disciplina, desde el modelo cognitivo de ciencia.*
4. Consideramos los modelos didácticos como modelos *originales* de la disciplina; algunos de ellos han sido inicialmente traídos, mediante un procedimiento analógico, desde las disciplinas “fuentes”.
5. Consideramos que, dentro de la didáctica de las ciencias, coexisten modelos de varios grupos teóricos (familias), pero dichos grupos no están *completamente* incluidos dentro de ella.
6. *Consideramos que, al interior de la didáctica de las ciencias, los modelos se están ligando en inicios de teorías (por ejemplo, la teoría curricular).*

En la figura 11.1 organizamos estos elementos en un esquema de la arquitectura de la didáctica de las ciencias. El procedimiento analógico con el cual se inicia la base de modelos paradigmática (Giere, 1992b) es lo que en el modelo europeo continental se identifica con el concepto de *adaptación* teórica. Por otra parte, la ausencia de teorías consolidadas, y el hecho de que muchos modelos didácticos pertenezcan a teorías transdisciplinarias, puede explicar la visión anglosajona de la *aplicación* teórica.



**Figura 11.1** Estructura de coherencia de la didáctica de las ciencias. Contiene en su interior diferentes modelos que forman parte de teorías transdisciplinarias con modelos en otras disciplinas. Los modelos didácticos, a su vez, pueden estar coalesciendo rápidamente en teorías específicas.

## 11.2 Ejemplos paradigmáticos de innovación en la didáctica de las ciencias

Se propone a los profesores de ciencias el análisis de tres investigaciones didácticas, dirigidas por Greg Kelly, Richard Duschl y Mercè Izquierdo

En esta sección presentamos tres ejemplos de investigación e innovación en la didáctica de las ciencias que pueden sintonizar con el marco de ideas desarrollado en el capítulo anterior. Los ejemplos, entonces, sirven a modo de *apoyo retórico* para nuestro metamodelo de la didáctica de las ciencias. Se propone a los futuros profesores de ciencias que reflexionen sobre algunas implicaciones del modelo tecnocientífico de la didáctica de las

ciencias; estas implicaciones conciernen directamente al rol que ellos tienen en el proceso de desarrollo curricular en sus diferentes niveles de concreción.

La consideración de la didáctica de las ciencias como una *tecnociencia* permite explicar varios rasgos de su funcionamiento actual sin caer en discursos normativos acerca de sus competencias y límites, discursos que son comunes en las disputas acerca de las relaciones de nuestro campo con otras disciplinas y con la práctica en el aula.

Por una parte, es necesario reconocer que, hoy en día, la didáctica de las ciencias produce saberes teóricos originales, que no se deben a ninguna otra disciplina, y que tampoco están centrados en la explicación ni en la modificación de procesos reales de aula. Esta didáctica de las ciencias está guiada por

le but de faire une étude de l'enseignement tel qu'il est, indépendamment de la volonté de le modifier dans l'immédiat. (Arsac, 1992: 19)

*Así, proposiciones políticas como la siguiente:*

Los aspectos teóricos de la didáctica de las ciencias deben empezar a plantearse en el aula y a ella deben volver. (Izquierdo, 1990b: 122)

que cobran sentido en el contexto histórico en el que se produjeron, pueden no ser hoy en día representaciones adecuadas del funcionamiento *total* de la didáctica de las ciencias, en el sentido de que esta disciplina posee una importante producción teórica poco ocupada de la modelización de los problemas concretos de la clase de ciencias.

Sin embargo, recogemos la preocupación de muchos profesores de ciencias acerca de la posibilidad de caer por este camino en una didáctica de las ciencias especulativa, desgajada de la realidad. No es esta la posición que se sostiene aquí, sino una coherente con el modelo de ciencia que presentamos. Para conseguir mayor operatividad sobre la realidad, la didáctica de las ciencias debe complejizar y afinar sus sistemas semióticos hasta hacerlos sumamente abstractos; pero abstracción no significa de ninguna manera



*dejar de hablar sobre la realidad*, significa aceptar la necesidad de producir saberes no inmediatamente dirigidos a la transformación de la práctica del profesorado de ciencias.

Es preciso aumentar nuestra *comprensión teórica* (y por ende práctica) del mundo de la educación científica para poder intervenir más eficazmente en él. La comprensión teórica hace necesaria la invención de una realidad ficticia y simplificada sobre la cual operar con todo el poder analítico de nuestras herramientas conceptuales. Esto justifica con creces la producción académica en la didáctica de las ciencias en el ámbito universitario, siempre y cuando la disciplina conserve su carácter de disciplina fáctica, dando sentido a hechos del mundo, aunque estos hechos estén reconstruidos y se alejen de la problemática inmediata del profesorado de ciencias.

Recuperamos la actividad <i>tecnológica</i> en la didáctica de las ciencias	Por otra parte, el reivindicar el carácter teórico de la didáctica de las ciencias no implica abandonar la importante actividad tecnológica que le es intrínseca desde su nacimiento, y que se ha transmitido en la tradición docente (Izquierdo, 1999b). Según el modelo de tecnociencia presentado, las actividades en la ciencia pura, la ciencia aplicada y la tecnología son simultáneas, y entre ellas se verifican retroalimentaciones en todos los sentidos.
--	--

No cabe, pues, un modelo ingenuo de tecnología didáctica de las ciencias en el cual debemos esperar un crecimiento de la base teórica para luego ser capaces de intervenir (Martinand, 1987). Es urgente aceptar la importancia del desarrollo tecnológico en la didáctica de las ciencias que, para muchos autores, está severamente postergado, en términos de reconocimiento, frente a la facción teórica (Romero Ayala, 1998).

Las actividades tecnológicas de la didáctica de las ciencias se juegan en lugares clave sobre los cuales hay que operar para una modificación positiva de la educación científica; no debemos olvidar que tal modificación es un valor intrínseco de nuestra disciplina desde su constitución. Entre estas actividades merecen mención, por su centralidad, el desarrollo curricular, la formación del profesorado de ciencias, y la producción de materiales (escritos y de laboratorio) para la enseñanza de las ciencias.

Por otra parte, la incidencia en la formación del profesorado de ciencias conduce eventualmente a un cambio en el estatus profesional de los profesores, que amplía el espectro de la didáctica de las ciencias y permite una unificación más sólida entre teoría y práctica. La didáctica de las ciencias busca un *profesor tecnólogo*, capaz de tomar decisiones curriculares fundamentadas en el conocimiento científico aportado por aquella, pero que superan este conocimiento ampliamente<sup>257</sup>. En este modelo,

el profesor es un diseñador del currículo, capaz de justificar sus decisiones. (Izquierdo, 1990b: 123)

Cabe aclarar que no se está sosteniendo aquí una visión *tecnicista*, en la cual el profesor de ciencias es un ejecutor de diseños tecnológicos pergeñados en niveles de decisión más altos. Esta visión<sup>258</sup> quita al docente toda autonomía y creatividad en el proceso, y lo divorcia de las reformas educativas, restando eficacia a estas reformas.

Recuperamos la analogía del profesor de ciencias como *profesional*

Cuando hablamos de un tecnólogo, queremos hacer énfasis en las similitudes del trabajo del profesor de ciencias con el del ingeniero o el médico. Aunque aquel no está necesariamente implicado en la producción de conocimiento teórico, es capaz de tomar decisiones aplicando una base amplia de dicho conocimiento –al que ha de tener acceso por su formación–, junto con valoraciones éticas y estéticas de la tarea de *diseño* de la situación de enseñanza de las ciencias.

Las decisiones profesionales del profesorado de ciencias, entonces, no están –como en ninguna tecnología– determinadas por el conocimiento científico (de las ciencias naturales, pedagógico, didáctico) de referencia, sino que remiten a él influidas y contextualizadas por las valoraciones que el propio profesor de ciencias hace de la situación. El profesorado de ciencias, entonces, detenta un *conocimiento profesional* complejo (teórico y práctico), que le permite desenvolverse en situaciones de autonomía

---

<sup>257</sup> En este sentido, Neus Sanmartí (1995) habla de un profesor *ejecutivo*.

<sup>258</sup> El “package approach” del que habla Peter Fensham (1988).

y creación (Bromme, 1988; Perrenoud, 1996), de cuya totalidad no puede dar cuenta ninguna disciplina científica.

Encontramos pertinente la analogía de Lee Shulman (1989):

La medicina se propone a menudo como un modelo adecuado para la educación. Los resultados de la investigación médica básica y clínica proporcionan principios generales que orientan las decisiones clínicas en determinadas circunstancias (o al menos indican que la práctica debe ser coherente con esos principios). (p. 79)

Hemos perfilado así un modelo de didáctica de las ciencias en el cual, con esta denominación, se remite a un espectro muy amplio de actividades; algunas de ellas existen actualmente, otras son metas que la propia disciplina maneja explícitamente.

Remitimos a las <i>actividades</i> de la didáctica de las ciencias (figura 10.14)	En este metamodelo postulamos la existencia de por lo menos cuatro campos de acción en la didáctica de las ciencias. En primer lugar, se produce conocimiento teórico de alto nivel de abstracción, que es original y específico de la disciplina. Aunque este conocimiento debe mantenerse compatible con el de otros campos académicos cercanos (epistemología, psicología, pedagogía, sociología, lingüística) que a menudo se revisan en busca de modelos paradigmáticos, no resulta una aplicación de tales saberes a la educación científica.
---	---

En segundo lugar, se producen modelos teóricos más orientados hacia aspectos concretos de la problemática didáctica de las ciencias: por ejemplo, el modelo de enseñanza *generativo*. En tercer lugar, hay desarrollo tecnológico dirigido a la transformación de las prácticas de enseñanza de las ciencias, como es la aplicación de herramientas didácticas concretas para favorecer el aprendizaje significativo.

Y por último, el diseño curricular, la programación didáctica, la producción de textos, y la propia enseñanza de las ciencias en todos los niveles educativos, son algunas de las áreas de aplicación del conocimiento científico y tecnológico generado por la didáctica de las ciencias. En estas áreas hay diversos profesionales implicados: didactas de las

ciencias, diseñadores del currículo, científicos, divulgadores, y los mismos profesores de ciencias.

Hechas estas consideraciones introductorias, pasamos a analizar los tres modelos didácticos recogidos en los siguientes apartados. Se trata de modelos mesocurriculares, que fundamentan o proponen el diseño de unidades didácticas de ciencias para secundaria. Hacemos un análisis de sus registros convergentes por medio del metamodelo de las tres P.

### 11.2.1 *El modelo de Kelly*

El primer ejemplo utiliza la etnografía educacional	El primer ejemplo está constituido por un grupo de trabajos en los cuales ha participado Greg Kelly (Kelly y Chen, 1999; Kelly et al., 2000; Kelly et al., en prensa); se trata de una serie de estudios del discurso oral y escrito en clases de física y oceanografía. En estos estudios se pueden identificar con relativa facilidad los tres registros convergentes.
---	--

Diversos marcos conceptuales, inspirados en diferentes disciplinas, son usados para iluminar las actividades discursivas en la clase; estos marcos pueden ser categorizados en nuestros tres registros:

1. *El marco pedagógico.* Está provisto por el campo de la *etnografía educacional*, y se enfoca en las interacciones sociales en la clase,

studying how what counts as science is interactionally established by members within given communities. (Kelly et al., 2000)

2. *El marco epistemológico.* Proviene de los estudios de la ciencia, y se enfoca en el “discursive shaping of disciplinary knowledge” (Kelly et al., 2000). Este marco incluye tres modelos específicos, que atienden, respectivamente, a la negociación de poder, la escritura científica, y el proceso de construcción de los hechos.

3. *El marco psicológico.* Está provisto por la ciencia cognitiva, y presta atención a las relaciones entre las prácticas discursivas en la clase de ciencias y los resultados del aprendizaje de los estudiantes individuales.

### 11.2.2 *El Proyecto SEPIA*

El segundo ejemplo proviene del trabajo de Richard Duschl y sus colaboradores en el contexto del *Project SEPIA* (Duschl, 1995, 1998; Duschl y Erduran, 1996; Erduran, 1999b). En la fundamentación de este trabajo identificamos:

1. *El registro pedagógico.* Apoyado en una concepción fuerte de la evaluación como autorregulación, desarrollada a través de las llamadas *conversaciones evaluativas (assessment conversations)*.
2. *El registro epistemológico.* Se relaciona el proceso de desarrollo curricular con un modelo específico de reestructuración teórica dentro de *comunidades epistémicas* (Kitcher, 1993; Duschl, 1997).
3. *El registro psicológico.* Se utiliza explícitamente un modelo del estudiante que toma aportes recientes de la psicología cognitiva (Donovan et al., 1999).

A partir de este proyecto curricular inicial, Duschl dirige su interés hacia el examen de la importancia de la explicación en la educación científica (Duschl, 1998, 2000a; Duschl y Ellenbogen, 2001). Otra vez, las perspectivas de este autor sobre la cuestión pueden ser analizadas desde el punto de vista de los tres registros convergentes.

<p>El proyecto SEPIA reconoce la importancia de la argumentación científica escolar</p>	<p>La epistemología proporciona el marco teórico general, que integra elementos de la retórica para explicar el proceso de argumentación en la ciencia erudita. Este registro incluye herramientas teóricas específicas, como el <i>patrón de argumentación de Toulmin (Toulmin's argumentation pattern, TAP)</i>.</p>
---	--

La psicología cognitiva relaciona este modelo epistemológico con los procesos mentales de estudiantes y profesores de ciencias, iluminando así la oposición entre las explicaciones del sentido común y las científicas. A partir de aquí, se lleva a cabo el

proceso de diseño de herramientas didácticas propiamente dicho, a fin de “andamiar” en los estudiantes la habilidad cognitivolingüística de la argumentación. Esta estrategia se fundamenta en un registro pedagógico que combina ideas neovygotskianas y un modelo didáctico generativo (Donovan et al., 1999; Sanmartí, 2000b).

### 11.2.3 *El Proyecto 12-16*

El tercer ejemplo se extrae del modelo didáctico que fundamenta el *Proyecto 12-16* (Izquierdo, 1990b, 1994b, 1996a, 2001; Izquierdo, Cabello y Solsona, 1992; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2001).

El registro epistemológico está provisto por el modelo cognitivo de ciencia, que permite formular la idea de *actividad científica escolar* (Izquierdo, Espinet et al., 1999; Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999).

El registro psicológico es de tipo cognitivo (Gardner, 2000), con aportaciones de modelos constructivistas, especialmente los neovygotskianos (Engeström et al., 1999).

El registro pedagógico recupera algunos conceptos relevantes de la didáctica general, en las líneas de:

1. el *análisis curricular*, y
2. la *teoría de la evaluación* (Izquierdo, 2001).

## 11.3 **Experiencias de formación del profesorado de ciencias que utilizan la epistemología de la didáctica de las ciencias**

Se han llevado a cabo dos experiencias de formación del profesorado de ciencias que toman algunas de nuestras ideas	Las dos experiencias que aquí se reseñan abordan, en el nivel de la formación inicial del profesorado de ciencias, algunas problemáticas actuales de la investigación epistemológica sobre la didáctica de las ciencias. Las experiencias se centran en la discusión existente sobre la necesidad de combinar, en el currículo de formación de los profesores de ciencias, las didácticas específicas de cada una de las disciplinas por
---	--

separado (física, química, biología, geología y meteorología) con una única didáctica de las ciencias naturales.

La idea fundamental de la puesta en práctica de estas dos experiencias es intentar vincular significativamente la investigación en didáctica de las ciencias y la formación del profesorado de ciencias que se llevan a cabo en nuestro centro. Las dos propuestas didácticas que recogemos aquí están desarrolladas en las siguientes publicaciones:

Bonan, L. (1999). *Análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias*. Dossier para la Unidad 1 de la Asignatura DEyPE I. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Meinardi, E. (2000). *Análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias*. Dossier para la Unidad 1 de la Asignatura DEyPE I. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Los resultados preliminares de la implementación de estas propuestas se comentan en los siguientes trabajos:

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*. General San Martín: Universidad Nacional de San Martín.

Bonan, L. (1999). Objetos de estudio de la didáctica de las ciencias y de las didácticas de cada disciplina. Documento de trabajo. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

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: AFA.

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*.

Meinardi, E., Galagovsky, L. y Sztrajman, J. (1998). Capacitación de alumnos universitarios del profesorado en ciencias naturales, en *Actas de las Jornadas Desarrollos en Docencia Universitaria con Expocátedra*, 55. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Estas dos experiencias de formación se relacionan de maneras diversas con nuestra segunda aplicación:

1. Por una parte, las experiencias constituyeron el contexto de práctica profesional en el cual se generaron los problemas de investigación que nos llevaron a desarrollar una parte de nuestro aparato conceptual. Así, algunos elementos del análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias que hemos reseñado en el capítulo 10, aparecieron como respuesta a una cuestión práctica que se nos pidió resolver: la inclusión de una única didáctica de las ciencias o de diversas didácticas específicas separadas en el currículo de formación del profesorado de ciencias.
2. En segundo lugar, las experiencias se tomaron como espacios para la puesta en marcha de nuestras ideas teóricas; en estos espacios recogimos retroalimentación para nuevas formulaciones más afinadas.
3. Por último, las experiencias utilizaron como material escrito varias de nuestras producciones, contribuyendo a su difusión en el ámbito del profesorado de ciencias.

### 11.3.1 *Relación de las experiencias con nuestra aportación*

La segunda aplicación se inscribe en una de las líneas de investigación de nuestro centro de origen	El <i>estatuto epistemológico</i> de la didáctica de las ciencias es una de las líneas de investigación que hemos desarrollado en nuestro centro de origen, el CEFIEC de la Universidad de Buenos Aires. Las dos experiencias que relatamos aquí tienden a establecer nexos entre la producción académica relativa a esa línea y la formación inicial de profesorado de ciencias. El trabajo
---	--



realizado durante cuatro años (1998-2001) ha funcionado como material de retroalimentación para los desarrollos conceptuales que hemos presentado en esta segunda aplicación de la tesis<sup>259</sup>.

El problema de partida se estableció tanto a nivel institucional, en el contexto de un proceso de reforma del currículo de la carrera del profesorado del CEFIEC, como a nivel de una asignatura particular de didáctica específica, de cuyo equipo formamos parte.

El tratamiento de la temática de la epistemología de la didáctica de las ciencias se abordó durante los cursos 1998, 1999, 2000 y 2001 de las asignaturas DEyPE I y II<sup>260</sup>. Se trabajó a partir de comparar diversas posturas acerca de la existencia de un cuerpo teórico en formación tanto para la didáctica de las ciencias como para cada una de las didácticas de las disciplinas específicas. El objetivo era poner a prueba estas posturas en un ámbito multidisciplinario, tanto de los estudiantes cursantes como del equipo docente de esas asignaturas.

Uno de los aspectos más importantes derivados de estas experiencias fue el relevamiento de *problemas comunes* a todas las didácticas específicas de las disciplinas. Se relevaron veintiún problemas (Bonan, 1999b).

Puede señalarse como rasgo innovador el trabajo que realizaron los futuros profesores de ciencias a partir de la propuesta didáctica, que consideró aspectos conceptuales, procedimentales y actitudinales, referidos a la didáctica de las ciencias cuando opera sobre *contenidos disciplinares específicos*.

El tratamiento conceptual fue abordado desde un plano epistemológico, a partir de la discusión y el análisis de diversas publicaciones, incluyendo varias de nuestra autoría,

---

<sup>259</sup> No hemos recogido datos para el estudio evaluativo de nuestra propuesta, ya que esto nos habría desviado del propósito general de esta tesis.

<sup>260</sup> Las asignaturas *Didáctica especial de las ciencias naturales y práctica de la enseñanza I y II* (DEyPE I y DEyPE II) son las últimas asignaturas del llamado *bloque pedagógico* de las carreras de los profesorados en ciencias naturales en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, Argentina.

que fueron consideradas como el conocimiento previo existente relativo a esta problemática. Este trabajo condujo a explicitar las representaciones alternativas de los estudiantes acerca del objeto de estudio de las didácticas específicas de cada una de las disciplinas y el objeto de estudio de la didáctica de las ciencias naturales.

La propuesta de los docentes de las asignaturas (formadores del profesorado de ciencias) relativa al tratamiento *procedimental*, se materializó en un estudio de campo llevado a cabo por los futuros profesores en la secundaria, a través de observaciones de clase (Galagovsky et al., 1996; Galagovsky, Bonan y Adúriz-Bravo, 1998). Los futuros profesores de ciencias realizaron observaciones de clase en la disciplina específica de su especialidad, como así también en otras disciplinas de las ciencias naturales, más allá de su formación disciplinar.

A partir de los datos reunidos en las diferentes observaciones realizadas, los futuros profesores de ciencias elaboraron un análisis en el que se priorizaron tanto los aspectos emergentes relativos a los cercos conceptuales de la especificidad de cada didáctica, como los rasgos generales que caracterizarían a la didáctica de las ciencias naturales (Bonan, 1999b).

Respecto del abordaje de contenidos *actitudinales*, los futuros profesores de ciencias tuvieron libertad de elección acerca de las asignaturas que observarían, y también acerca de la realización del *practicum* o residencia docente; es decir, podían elegir asignaturas de su especialidad o de otras disciplinas de entre las ciencias naturales.

### 11.3.2 *Consideraciones iniciales*

Desde una perspectiva epistemológica, la didáctica de las ciencias atraviesa un proceso de organización paradigmática muy acelerado. Es decir, existe una tendencia a la unificación de diferentes líneas de investigación, intentando condensar los cursos de desarrollo teórico y empírico de la didáctica de las ciencias en un número limitado de paradigmas que, integrados, conformen y reconstruyan el grueso de la disciplina, y expliquen a grandes rasgos su evolución en el tiempo. Por ende, existe un debate, a nivel mundial, acerca de la delimitación del objeto de estudio de esta disciplina y de la

demarcación de las didácticas de las disciplinas específicas como cuerpos teóricos independientes. La actualidad de este debate se evidencia en la siguiente cita:

So far there is no consensus at all concerning specific questions which could justify a separate discipline of physics education (didactics). (Jung, 1993: 31)

Por otra parte, existen tendencias claras a la unificación de los contenidos bajo un área de ciencias naturales en el nivel de la educación obligatoria (Izquierdo, 1994a). En la reestructuración propuesta por la reforma educativa argentina, los profesores de ciencias de nivel medio (Polimodal) estarían habilitados para enseñar en el tercer ciclo de la Escuela General Básica (12 a 15 años). Esto trae aparejada la necesidad de una transformación de los currículos de formación inicial del profesorado de ciencias, relativa a una articulación horizontal de los contenidos de las ciencias naturales como un todo.

El tratamiento de esta temática durante la formación del profesorado de ciencias tiene por objeto ampliar las perspectivas de los aportes de la investigación, integrando la reflexión sobre la propia práctica a la formación del futuro profesor.

### 11.3.3 *Población de estudiantes (futuros profesores de ciencias) y profesores (formadores del profesorado)*

Siendo una de las últimas asignaturas de los profesorados con especialidad en física, química, biología, geología y meteorología, los estudiantes pueden caracterizarse por ser egresados de las respectivas licenciaturas, o haber casi completado la formación disciplinar específica y la formación del bloque pedagógico. Una particularidad relativa a la población de estudiantes es que gran parte de ellos son profesores de ciencias *en activo*, que cursan la carrera del profesorado para legalizar su situación laboral.

Los integrantes del cuerpo docente de las asignaturas, del cual formamos parte, tienen formaciones de orígenes disciplinares diferentes, y son investigadores en didáctica de las ciencias.

#### 11.3.3.1 Organización y tareas del equipo docente de la asignatura

El equipo procedió al relevamiento del *estado del arte* de la epistemología de la didáctica de las ciencias a nivel mundial; esto motivó la elaboración de un trabajo práctico relativo a los objetos de estudio de la didáctica de las ciencias naturales y de las didácticas específicas. La propuesta del equipo docente contempló:

1. La indagación de *concepciones alternativas* de los futuros profesores de ciencias al respecto.
2. El análisis de publicaciones, provenientes de la didáctica general, cuyo contenido estaba relacionado con esta cuestión.
3. El análisis del discurso de estudios provenientes del área de la didáctica de las ciencias, poniendo especial énfasis en la fundamentación epistemológica subyacente en los mismos.
4. El relevamiento de las representaciones de los estudiantes acerca de los problemas de investigación propios de las didácticas específicas, como así también los comunes a la didáctica de las ciencias.

#### 11.3.3.2 Organización y tareas de los estudiantes de la asignatura

Los estudiantes realizaron trabajos de elaboración personal y grupal. El agrupamiento de los futuros profesores de ciencias fue organizado en grupos disciplinares específicos y en grupos multidisciplinarios, según la etapa de desarrollo del trabajo.

Los estudiantes, agrupados según las disciplinas específicas, realizaron un informe en el cual situaron las problemáticas específicas de la enseñanza de la propia disciplina.

Esta organización de los estudiantes estuvo orientada a facilitar el intercambio de opiniones acerca de un mismo problema con diferentes miradas, según su formación disciplinar. Esta forma de trabajo operó como un espacio de discusión interdisciplinar acerca de cuestiones didácticas comunes a varias disciplinas.

La propuesta de trabajo fue organizada con el objetivo de discutir e indagar las expectativas de los futuros profesores de ciencias respecto de las ventajas o desventajas

de cursar las didácticas de las disciplinas específicas frente a la didáctica de las ciencias, y de analizar los aportes de la investigación en didáctica de las ciencias a la formación del profesorado de ciencias.

#### 11.3.4 *Logros y dificultades*

Las innovaciones producidas a partir de esta experiencia permitieron arribar a algunas conclusiones preliminares.

Inicialmente, los futuros profesores de ciencias marcaron fuertes diferencias acerca del objeto de estudio de las didácticas de las disciplinas específicas. Durante el transcurso de la actividad, y luego del análisis de las observaciones de clase, estas diferencias fueron diluyéndose, encontrándose una gran cantidad de aspectos comunes en lo que se refiere a la enseñanza de los contenidos provenientes de las ciencias naturales en general. Las posibles soluciones particulares –según el tema específico a enseñar– podrían encararse tanto desde cada disciplina (física, química, biología, geología y meteorología), como desde una perspectiva más amplia.

El trabajo realizado por los futuros profesores de ciencias sobre las problemáticas específicas que plantea la enseñanza de su disciplina de especialidad, tuvo incidencia en las decisiones que tomaron respecto del *practicum*, o residencia docente. Algunos estudiantes realizaron propuestas originales de enseñanza de un contenido específico disciplinar, desde un enfoque interdisciplinar, para llevar al aula durante su residencia. Los resultados en este aspecto (Bonan, 1999b) apuntan a que los futuros profesores se sienten menos seguros cuando planifican acciones didácticas *fuera* de la disciplina específica de su formación.

#### 11.4 **A modo de conclusión**

La segunda aplicación cobra valor por su relación con la primera y la tercera

En el primer apartado, justificamos que el análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias (segunda aplicación) tiene valor para la formación del profesorado de ciencias *sólo* en relación con un análisis epistemológico previo de las ciencias naturales eruditas (primera aplicación) y con un

análisis epistemológico posterior de las ciencias naturales escolares (tercera aplicación).

El segundo apartado menciona un indicio de validez consecuencial de esta aplicación: el hecho de que nuestro metamodelo de la didáctica de las ciencias está siendo usado para justificar trabajos de investigación e innovación dentro de la disciplina.

El tercer apartado abre perspectivas para el trabajo futuro, referidas a ahondar en la utilización de las ideas de esta segunda aplicación en nuevas instancias de formación inicial del profesorado de ciencias.

#### 11.4.1 *Justificación de la aplicación*

Interesa volver la vista atrás y echar una mirada a la aplicación en su conjunto, a fin de ver el problema que se plantea y la solución personal que le damos. El problema puede ser definido como la necesidad de que los profesores de ciencias efectúen un análisis epistemológico *sobre una disciplina en particular*. En este caso, la disciplina seleccionada ha sido la didáctica de las ciencias.

Creemos que el despliegue de los aparatos conceptuales que hemos expuesto para el análisis epistemológico cobra pleno sentido para estos profesores al ser aplicado *principalmente* a las propias ciencias naturales, que constituyen el contenido a enseñar en su práctica profesional. Secundariamente, puede ser valioso para el profesorado de ciencias ver cómo se puede efectuar un análisis muy similar al anterior sobre la didáctica de las ciencias como disciplina científica.

Por tanto, nuestra respuesta al problema del análisis epistemológico apunta a que este análisis, establecido sobre la didáctica de las ciencias, no es un mero ejercicio intelectual, sino que tiene valor formativo porque traslada herramientas del dominio epistémico del contenido a enseñar (primer orden de discurso) al dominio de la reflexión teórica sobre ese contenido (segundo orden). Este procedimiento permite identificar la entidad *ciencia escolar* como el objeto de trabajo del profesorado de ciencias, y justifica la necesidad de su fundamentación epistemológica.

El análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias, además, es importante porque permite a los profesores de ciencias reflexionar críticamente sobre las relaciones entre el conocimiento teórico y la educación científica, relaciones que ellos mismos llevan a la realidad durante su trabajo.

#### 11.4.2 *Indicios de validez*

La caracterización epistemológica de la didáctica de las ciencias que presentamos en esta segunda aplicación de la tesis está siendo ya utilizada en diversos trabajos de investigación e innovación dentro de la didáctica de las ciencias<sup>261</sup>. Estos trabajos señalan, en cierto modo, que las ideas aquí expuestas son valiosas. Al mismo tiempo, proveen una fuerte retroalimentación para mejorarlas y afinarlas en el futuro.

#### 11.4.3 *Perspectivas de futuro*

En este momento, estamos colaborando con la profesoras Bonan y Meinardi para diseñar nuevas actividades sobre la epistemología de la didáctica de las ciencias, que implementaremos en la formación inicial del profesorado de ciencias en la Universidad de Buenos Aires. Para ello, nos resulta necesario *clarificar* los objetivos del análisis epistemológico, poniéndolos en relación con la profesionalización de los futuros profesores de ciencias.

---

<sup>261</sup> Entre ellos: Espinet (1999); Izquierdo (1999b); Sellés y Bonan (1999); Azcárate e Izquierdo (2000); Duschl (2000a); Soto y Sanjosé (2001).