

## Fundamentación epistemológica de la ciencia escolar

---

La tercera aplicación propone a los futuros profesores de ciencias el análisis epistemológico de un ejemplo de *ciencia escolar*

El tercer momento de nuestra argumentación se genera cuando, como resultado del análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias, se identifica la *ciencia escolar* como el objeto propio de la disciplina, creado a través del proceso de transposición didáctica, en el contexto de educación científica en todos sus niveles y modalidades. La ciencia escolar necesita entonces ser fundamentada desde su *enseñabilidad* (Galagovsky et al., 1999; Izquierdo, 2000a; Izquierdo y Adúriz-Bravo, en prensa; Meinardi et al., en prensa), y para ello recurrimos por tercera vez a la epistemología como metaciencia. Cerramos así el trayecto de las relaciones que hemos planteado entre esta disciplina y la propia didáctica de las ciencias (Adúriz-Bravo, 2001e; Adúriz-Bravo, Izquierdo et al., 2001).

Esta tercera aplicación está dedicada a trasladar a la formación inicial del profesorado de ciencias los *fundamentos epistemológicos de la ciencia escolar*, y a poner en acción estos fundamentos en un ejemplo concreto de análisis didáctico en el campo de la enseñanza de la física en secundaria (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001b, 2001d; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Duschl, 2001). El trabajo de fundamentación epistemológica de la ciencia escolar podría participar en un futuro próximo de la construcción del *núcleo teórico* de la didáctica de las ciencias (Izquierdo, 1990b, 1999b; Adúriz-Bravo, 1999b; Espinet, 1999), ya que esta disciplina está interesada en entender la dinámica y particularidades del *conocimiento* y la *actividad* científicas en la escuela y, en general, en todos los escenarios en los que se lleva a cabo la transmisión y la difusión de la ciencia (Adúriz-Bravo, 1999b, 2000e).

Se entiende que la ciencia escolar es un objeto autónomo y con características propias, desarrollado en el contexto científico de educación (Echeverría, 1995, 2001; Izquierdo, 1995a, 1995b, 1999b, 2000a; Adúriz-Bravo, 1999b). Como tal, la ciencia escolar está en

relación bidireccional con la ciencia erudita, pero difiere de ella en muchos aspectos que conviene señalar, con el fin de contribuir teórica y prácticamente a la mejora de la educación científica (Izquierdo, 2000a; Izquierdo y Adúriz-Bravo, en prensa):

La enseñanza de las ciencias ‘para todos’ (...) requiere un currículo específico, diseñado por especialistas, que puede llegar a ser *muy diferente* de los que configuran los estudios de ciencias universitarios; pero una y otros han de tener algo en común, puesto que la aceptación y la comprensión social de la ciencia en el futuro dependerán de la formación que hayan recibido los ciudadanos. (Izquierdo, 1999b: 5; las cursivas son nuestras)

El interés y la necesidad de caracterizar la ciencia escolar con el auxilio de las metaciencias surgen de un intento de formación epistemológica inicial del profesorado de ciencias más coherente con las finalidades actuales proclamadas para la educación científica. Según estas finalidades, el conocimiento de la ciencia per se es irrelevante si no está acompañado de una transformación significativa en la vida de los ciudadanos, principalmente en lo que atañe a la toma de decisiones sobre el desarrollo de las sociedades democráticas (AAAS, 1989; Monk y Osborne, 1997; Matthews, 1998; Millar y Osborne, 1998; Kolstø, 2000; Villamañán y Adúriz-Bravo, 2001; Izquierdo, en preparación).

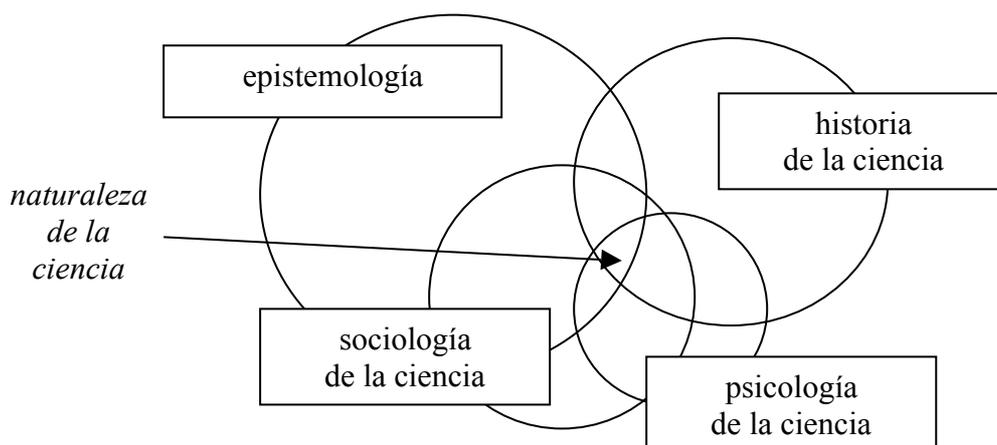
La fundamentación epistemológica de la ciencia escolar se hace por medio del *modelo cognitivo de ciencia*

La tercera aplicación está dedicada entonces a un estudio *internalista* de la ciencia escolar, principalmente conducido con las herramientas formales del modelo cognitivo de ciencia de Ronald Giere (1986, 1992a, 1992b, 1993, 1996, 1999a, 1999b, 2001), complementadas con modelos de otras escuelas epistemológicas y aportes de otras disciplinas científicas. Todas las herramientas conceptuales que usamos están adaptadas libremente a las necesidades y propósitos de la didáctica de las ciencias, que proporcionan la *matriz disciplinar* desde la que se desarrolla este trabajo (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2001).

Aunque se trata de un estudio de características fundamentalmente epistemológicas, se lleva a cabo desde la perspectiva de los objetivos y *valores* de la didáctica de las ciencias, y en el contexto académico que proporciona esta disciplina. Esta afirmación

justifica la selección particular de los modelos teóricos que usamos para la tarea, así como el recorte de los problemas que tratamos, los ejemplos que desarrollamos y las implicaciones que derivamos.

La epistemología como reflexión teórica sobre las ciencias naturales sustenta una perspectiva conceptual bien definida, distinta de las de la historia, la sociología, la psicología y la lingüística de la ciencia, y de la que tiene la propia didáctica de las ciencias, pero a la vez congruente y convergente con todas ellas (Izquierdo, 1996b; McComas y Olson, 1998: figura T.1). La epistemología como metadiscurso es capaz de fundamentar las ciencias naturales eruditas y escolares desde la perspectiva de la *enseñabilidad* del conocimiento (Izquierdo, 1992, 2000a; Adúriz-Bravo, en prensa-a, en prensa-e; Meinardi et al., en prensa), y proporciona además herramientas teóricas para comprender el proceso de transposición entre unas y otras. De allí su importancia para la formación del profesorado de ciencias.



**Figura T.1** Las metaciencias como disciplinas convergentes, constituyendo la reflexión sobre la naturaleza de la ciencia. Adaptado de McComas y Olson (1998: 50).

Consideramos el *modelo de transposición didáctica* como uno de los modelos teóricos estructurantes de la didáctica de las ciencias (Izquierdo, 1990b, 1999b; Adúriz-Bravo, 1999b), inscrito en el centro mismo de su núcleo teórico. Según este modelo (Chevallard, 1997; Astolfi et al., 1997), la ciencia escolar es una entidad autónoma con características distintivas, que comparte muchos rasgos con su contraparte erudita, pero que, al estar sustentada por valores bien distintos a los de esta, difiere consecuentemente

de ella en muchos aspectos. La reflexión metateórica sobre ambos tipos de ciencia es capaz de iluminar las semejanzas y diferencias entre ellas, ayudando a articularlas en el contexto de educación científica, con el fin de conseguir una enseñanza de las ciencias más rica y valiosa.

La ciencia escolar se define a partir del modelo de *contextos científicos* y del modelo de *transposición didáctica*. El *modelo de contextos* de Javier Echeverría (1995, 2001) puede ser usado para la didáctica de las ciencias en dos sentidos bien diferentes. Por un lado, nuestra disciplina, como cualquier otra, también se desarrolla en cuatro contextos. Así, por ejemplo, es posible ubicar a los profesores de ciencias como tecnólogos en el contexto de *aplicación* de los conocimientos didácticos, o destacar la labor de los departamentos universitarios de didáctica de las ciencias en la conformación del contexto de *educación* didáctica del profesorado de ciencias (Espinet y Sanmartí, 1998).

Pero por otro lado, la didáctica de las ciencias es una disciplina surgida en la propia complejidad del contexto de educación de las ciencias naturales. Este se ha ampliado y especializado al punto de demandar hoy conocimientos profesionales muy específicos para su desarrollo. En este panorama teórico, la ciencia escolar ha cobrado autonomía y una personalidad propia. Estamos lejos de visiones como la de la “didactización” de los saberes eruditos, como se expresa en esta cita:

*La Didactique est un ectoplasme épistémologique, qui déforme, en les simplifiant, les savoirs purs qu'elle emprunte, les rendant méconnaissables.* (Bailly, 1987: 40; cursivas en el original)

Esta visión teórica clásica presenta una didáctica específica que apenas está logrando su separación de la didáctica general. Por una parte, se atribuye a la propia didáctica de las ciencias el trabajo de transformación de los saberes científicos en sus versiones escolares. La disciplina cobra entonces sentido *sólo* en el contexto de formar al profesorado en la ciencia a enseñar. Así lo expresa un curso de didáctica específica con este mismo enfoque tradicional:

La razón principal de un curso de Didáctica de la Física radica en su propio contenido científico. (Lahera, 1968: 7)

Además, este contenido transformado se ve como una versión simplificada e irreconocible de la ciencia erudita.

La visión teórica detentada actualmente por los didactas de las ciencias es bien distinta a esta. Por un lado, existe un proceso muy elaborado de *transposición didáctica* (Chevallard, 1997) que se lleva a cabo en la llamada *noosfera*, y en el que participan profesionales de toda índole y miembros de las distintas fuerzas sociales, además de los científicos y los propios didactas de las ciencias:

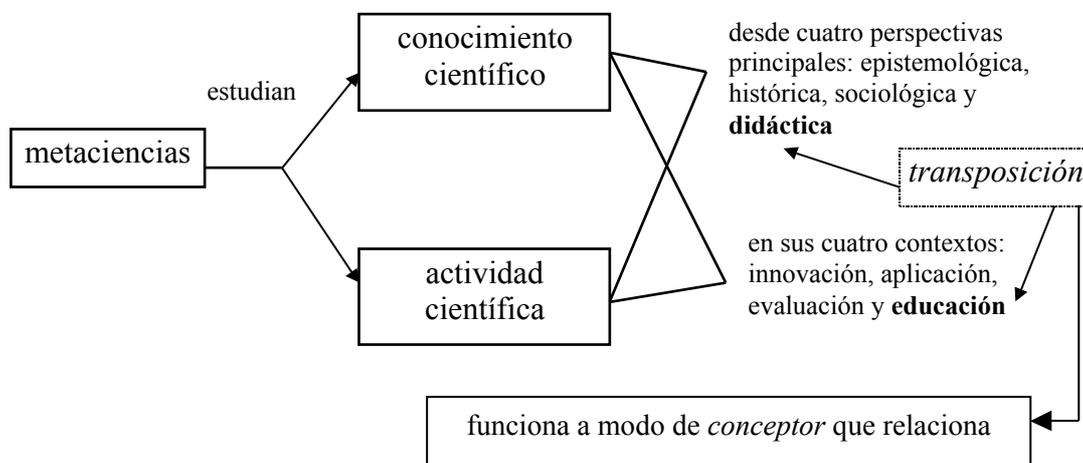
There is a place for historians, philosophers, and sociologists of science in the deliberation of science curriculum. (Duschl, 1988: 60)

Por otro lado, la ciencia escolar creada es un objeto vivo y cambiante, que se relaciona con la ciencia erudita, pero que posee rasgos originales que no dependen de ella. Además, al estar caracterizada por valores propios –aquellos del contexto de educación–, la ciencia escolar tiene objetivos y metas que la alejan de ser una mera “copia a escala” del trabajo de innovación científica (Izquierdo, Espinet et al., 1999; Izquierdo, 2000a).

En este panorama de ideas, la ciencia escolar se vuelve un objeto de estudio preeminente para la didáctica de las ciencias; nace así la necesidad de una verdadera *epistemología de lo escolar* (Astolfi et al., 1997; Porlán y Rivero, 1998; Izquierdo, 2000a, 2001), que está actualmente en sus tímidos inicios teóricos. Consideramos que esta epistemología de la ciencia escolar tiene un valor enorme para la formación del profesorado de ciencias.

Las relaciones complejas, bidireccionales e históricamente cambiantes entre la ciencia escolar y su contraparte erudita (explicadas por el modelo de contextos y por el modelo de transposición), justifican que la didáctica de las ciencias tenga una amplia producción académica ocupada de las ciencias naturales *por sí mismas*, similar en su objeto a la producción de las otras metaciencias, pero separada de ellas por su

perspectiva teórica, sus valores y objetivos, y sus fundamentos conceptuales (Adúriz-Bravo, 1999b) (figura T.2).



**Figura T.2** Dos modelos teóricos, el de contextos científicos (Echeverría, 1995) y el de transposición didáctica (Chevallard, 1997), nos permiten definir la ciencia escolar.

Nuestra concepción de la didáctica de las ciencias incorpora, como elemento central, el desarrollo de una ciencia escolar que elabora sus propios modelos teóricos para la enseñanza, en función de ayudar al estudiante (novato) a apropiarse de las formas de representación, las estrategias cognitivas, los modos de intervención y el lenguaje específico del científico (experto). Para ello, consideramos fundamental el diseño de interacciones en el aula de ciencias que faciliten tanto el aprendizaje significativo como la toma de conciencia sobre lo aprendido, sobre las estrategias cognitivas, epistémicas, discursivas, materiales y sociales empleadas (Adúriz-Bravo, 2001d; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Duschl, 2001; Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001), y sobre las relaciones de todo ello con la *referencia cultural* externa (Izquierdo, 1999b; Martins, 2001), que es la ciencia entendida como cuerpo normativamente impuesto por la sociedad.

El modelo de ciencia escolar es coherente con el modelo de profesor de ciencias como *tecnólogo* (segunda aplicación)

En esta concepción de la didáctica de las ciencias, los profesores de ciencias adquieren un papel fundamental, pues son los responsables del momento final del proceso de transposición didáctica<sup>262</sup> y, por tanto, verdaderos creadores de la ciencia escolar en el aula. Este modelo de *profesor como tecnólogo*, que hemos desarrollado en la segunda aplicación de esta tesis, implica un profesorado de ciencias capaz de analizar críticamente los fundamentos epistemológicos de la ciencia erudita y de la ciencia escolar, y de poner este análisis al servicio de la construcción de una ciencia escolar significativa para sus estudiantes.

En este contexto, nuestro entendimiento del modelo de transposición didáctica está apoyado en la idea de que los *modelos teóricos escolares* (Izquierdo, 2000a, 2001) son las entidades “medulares” de la educación científica. También postulamos la existencia de *mediadores* de naturaleza analógica para facilitar a los estudiantes el proceso de ascenso desde los modelos del sentido común sobre el mundo natural hacia los modelos teóricos escolares (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Duschl, 2001).

Se resume la tercera aplicación

El capítulo 12 presenta una caracterización a grandes rasgos de la ciencia escolar, originalmente debida a Mercè Izquierdo (1992, 1994b, 1995a, 1995b) y ampliada por ella y por nosotros en sucesivos trabajos<sup>263</sup>. La caracterización inicial y sus sucesivas ampliaciones se reseñan en las primeras secciones del capítulo; luego se introducen las nuevas aportaciones al modelo que hemos desarrollado para esta tesis.

---

<sup>262</sup> Llamado *último nivel de concreción* del currículo (Coll, 1988).

<sup>263</sup> Entre ellos: Izquierdo (1996a, 1999a, 1999b, 2000a, 2001); Adúriz-Bravo (1999b); Galagovsky et al. (1999); Izquierdo, Espinet et al. (1999); Adúriz-Bravo, Meinardi y Duschl (2001); Adúriz-Bravo, Izquierdo y Duschl (2001); Izquierdo y Adúriz-Bravo (en prensa); Meinardi et al. (en prensa); Adúriz-Bravo, Duschl e Izquierdo (en revisión).

Como se dijo, la caracterización epistemológica que hacemos de la ciencia escolar abreva principalmente en el *modelo cognitivo de ciencia* (Giere, 1992b). Este modelo es muy rico y presenta gran cantidad de elementos; intentamos retomar algunos de ellos en su transposición al contexto específico de la didáctica de las ciencias (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2001, en prensa).

Así como la fundamentación epistemológica de la ciencia erudita es tan extensa y compleja que requiere de una serie de disciplinas especializadas, las *metaciencias* (Mosterín, 1982; Moulines, 1982, 1991; Estany, 1993; Adúriz-Bravo, 1999b; Izquierdo, 1999b, 2000a), la fundamentación epistemológica de la ciencia escolar se revela como una tarea titánica, capaz de dar lugar a una línea de investigación poderosa, con muchos frentes, e involucrando numerosos estudios diferentes. Consecuentemente, nosotros no podemos más que intentar iniciar esta tarea, dejando abierto el juego a las aportaciones teóricas y empíricas que vendrán ulteriormente<sup>264</sup>.

La ciencia escolar se caracteriza a través de cinco elementos: *estructura macro* y *microcurricular*, *lenguaje*, *analogía* y *metaciencias*

El capítulo 12 desarrolla también algunos de los elementos de la caracterización epistemológica de la ciencia escolar con más detalle; hemos seleccionado estos elementos por tres motivos. Primero, porque ellos son *ejemplos paradigmáticos* de las diferentes líneas de trabajo que esta área de investigación puede dar de sí (Izquierdo, 1995a, 1995b; Adúriz-Bravo, 2001d; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Duschl, 2001). Se trata de líneas en las cuales existe actualmente mucho conocimiento didáctico teórico y práctico disponible, pero que están aún desarticuladas y confusas. Segundo, porque son elementos importantes para describir y explicar las *prácticas de enseñanza* que serían más congruentes con nuestro modelo de ciencia escolar; en este sentido, su exposición en esta aplicación está dirigida específicamente a la formación epistemológica inicial del profesorado de ciencias. Tercero, porque son elementos que permitirían comenzar a operacionalizar el modelo de ciencia

---

<sup>264</sup> Algunas de estas aportaciones están sugeridas o esbozadas en trabajos de investigación actualmente en curso.

escolar en *innovaciones didácticas concretas*, introduciendo cambios en la práctica *real* del aula de ciencias.

En particular, nos concentramos en cinco de los elementos caracterizadores de la ciencia escolar<sup>265</sup> (Adúriz-Bravo, 2001d; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Duschl, 2001):

1. *Los modelos de organización macrocurricular*. Nos dedicamos especialmente a aquellos modelos curriculares *postmodernos* (Martins, 2001) que rompen con la estructuración tradicional, disciplinar y basada en los contenidos a enseñar (Adúriz-Bravo y Meinardi, 2000; Adúriz-Bravo, 2001d; Adúriz-Bravo, Duschl e Izquierdo, en revisión). En el campo de la selección y la secuenciación de los contenidos, los modelos que recogemos utilizan técnicas de análisis estructural que se valen de herramientas formales de diseño, como son las ideas, conceptos y campos estructurantes y transversales, las macroideas y metamodelos, y los modelos irreductibles.
2. *Los modelos de organización microcurricular*. En el nivel del diseño de las unidades didácticas propiamente dichas, examinamos algunos modelos de raigambre constructivista que incorporan como elementos centrales la modelización, la metacognición y el discurso<sup>266</sup>.
3. *El uso del lenguaje en la ciencia escolar*. Tomamos elementos de la retórica como disciplina para iluminar las interacciones lingüísticas (entendidas en sentido amplio, multisemiótico) que se dan en el aula de ciencias durante la construcción de la ciencia escolar<sup>267</sup>. Un uso particular del lenguaje que rescatamos en este apartado es el involucrado en la reconstrucción escrita de la *experimentación* escolar (Izquierdo, 1999b, 2000c, en prensa-a, en preparación).
4. *El uso de la analogía en la ciencia escolar*. Un aspecto importante a examinar, derivado del análisis anterior, es el del papel que juegan la analogía y la metáfora,

---

<sup>265</sup> Complementamos los que se consideran en Izquierdo (1995a).

<sup>266</sup> Por ejemplo: Giordan (1982); Osborne y Wittrock (1985); Adúriz-Bravo (1993); Galagovsky (1993b); Sutton (1994, 1996); Osborne y Freyberg (1995); Sanmartí (1995, 2000b); Sanmartí e Izquierdo (1997); Newton et al. (1999); Linn (2000).

<sup>267</sup> Expuestos por ejemplo en: Sutton (1994); Lemke (1997); Osborne (1999); Newton et al. (1999); Borsese (2000); Martins (2000a, 2000b, 2001); León (2001); Rodríguez Aguirre (2001).

tanto en sus aspectos retóricos como representacionales, en la construcción de la ciencia escolar en el aula<sup>268</sup>.

5. *El uso instrumental de las metaciencias*. Este último aspecto refiere a la utilización explícita de la epistemología y la historia de la ciencia, tanto a nivel del currículo como a nivel de la planificación, para ayudar a la construcción de la ciencia escolar (Izquierdo, 1990a, 1992, 1996b; Duschl, 1997; Adúriz-Bravo, 1999b, 2001b; Matthews, 2000).

Al final del capítulo 12 introducimos el constructo de *función modelo teórico* para resumir nuestra propuesta teórica. Este constructo es el elemento fundamental para llevar a cabo el análisis epistemológico que se expone en el capítulo siguiente como la aplicación propiamente dicha.

|   |  |
|---|--|
| El análisis epistemológico se hace sobre el modelo irreductible de ondas y campos | El capítulo 13 pone en funcionamiento este aparato, con sus diferentes elementos constituyentes, para la construcción de la aplicación: un primer ejemplo paradigmático de análisis epistemológico de la ciencia escolar. Se trata de un intento de que los futuros profesores de ciencias revisen lo que llamamos el <i>modelo irreductible de ondas y campos</i> para la física de nivel secundario (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001b, 2001d; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Duschl, 2001). Nuestro ejemplo se apoya en el análisis de diversas propuestas didácticas, que hemos seleccionado por su valor reconocido para la enseñanza de las <i>ondas</i> para diferentes poblaciones y contextos <sup>269</sup> . |
|---|--|

El capítulo 13 se cierra exponiendo algunas conclusiones e implicaciones didácticas derivadas de la combinación entre el material teórico y el análisis de los textos didácticos. Se sugieren algunas áreas hacia las cuales los futuros profesores de ciencias

---

<sup>268</sup> Algunos trabajos al respecto son: Thagard (1992a); Glynn (1990, 1995); Duit (1991); Clement (1993); Ogborn et al. (1996); Lemke (1997); Greca y Moreira (1998); Adúriz-Bravo, Gómez Moliné y Sanmartí (2001); Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001).

<sup>269</sup> Nos ubicamos una vez más dentro de un modelo de ciencia en el cual hablamos de *ejemplos paradigmáticos* como aquellos fenómenos del mundo reconstruidos en el seno del modelo teórico y de acuerdo con una racionalidad hipotética.

podrían llevar el análisis a partir de ahora. Estas sugerencias están apoyadas por algunos resultados teóricos y empíricos preliminares, que surgen de nuevas investigaciones puestas en marcha.

Esta tercera aplicación puede ser entendida, en su faceta empírica, como un análisis *epistemológico* de una muestra de propuestas de la didáctica de las ciencias que están ocupadas de la enseñanza del tema de ondas. Queremos identificar algunos elementos teóricos y prácticos sugerentes, que permitan al profesorado de ciencias construir una primera visión de conjunto de esta problemática y hacer avanzar la discusión sobre los modelos actuales de desarrollo curricular, transposición didáctica y ciencia escolar (Chapman, 1994; Hodson y Prophet, 1994; Solomon, 1994a, 1994b; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Duschl, 2001; Adúriz-Bravo, Duschl e Izquierdo, en revisión). Para esta identificación de elementos, encontramos útiles algunas de las herramientas que se pueden derivar del *modelo cognitivo de ciencia escolar* (Izquierdo, 2000a), que queda perfilado por nuestra fundamentación epistemológica.

|               |  |
|---------------|--|
| Recuperamos   | El análisis de la ciencia escolar constituiría una de las tres |
| la            | facetas de la fundamentación epistemológica de la didáctica de |
| <i>tesis</i>  | las ciencias que, en esta tesis, queremos proponer como        |
| del trabajo   | componentes para la formación del profesorado de ciencias.     |
| (sección 1.1) |  |

Se define  
la idea de  
fundamentación  
epistemológica  
de la  
ciencia  
escolar

En este capítulo se hace un primer esbozo a grandes rasgos de lo que a nuestro juicio constituiría una fundamentación epistemológica de la ciencia escolar con valor para la formación del profesorado de ciencias. Esta fundamentación quedaría definida, preliminarmente, como un intento de que los profesores de ciencias den respuesta a la pregunta de qué ciencia enseñar, usando para ello una selección de modelos epistemológicos transpuestos adecuadamente.

Los modelos teóricos que utilizamos para esta tarea provienen de diversas escuelas de la epistemología del siglo XX, pero sin duda el que más utilizaremos será el *modelo cognitivo de ciencia*<sup>270</sup>, por su enorme potencia formal y sus directas implicaciones para la didáctica de las ciencias (Izquierdo, 1999a, 2000a; Adúriz-Bravo, 1999b; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2001).

La fundamentación epistemológica de la ciencia escolar se presenta como una tarea compleja, debido a la complejidad del propio objeto de estudio. Nuestro intento en esta dirección sólo selecciona algunos de los muchos elementos que convergen en la posible fundamentación. Estos elementos son reconocidos como centrales por diversos didactas de las ciencias<sup>271</sup>, pero puede haber otros elementos igualmente valiosos que hemos excluido de nuestro abordaje particular.

Se resume  
el capítulo

En la primera sección, se justifica la necesidad de un análisis epistemológico de la ciencia escolar a la luz de los importantes

---

<sup>270</sup> Siguiendo a: Giere (1986, 1992a, 1992b, 1999b); Nersessian (1989, 1992); Carey (1992); Chi (1992).

<sup>271</sup> Ver: Gil-Pérez (1993); Sanmartí (1995); Duschl (1997); Galagovsky (1997); Jiménez Aleixandre (1998); Espinet (1999); Izquierdo (1999b); Linn (2000).

cambios en el concepto de educación científica acaecidos en la segunda mitad del siglo XX (Solomon, 1994a; Izquierdo, 2000a). La segunda sección expone y desarrolla los elementos epistemológicos que se utilizarán en la tarea. Se presta particular atención al modelo cognitivo de ciencia, enmarcándolo en la *concepción basada en modelos* y en la escuela semántica de la epistemología, desarrolladas y difundidas en los últimos treinta años (Kitcher, 1993; Suppe, 2000).

La tercera y cuarta secciones aplican estas herramientas conceptuales a la disección teórica de la ciencia escolar tal como se la ha llevado a cabo hasta el momento<sup>272</sup>. Se identifican algunos de los elementos constituyentes y, dado el contexto de producción de esta tesis, se pone énfasis en las implicaciones de este modelo en la formación del profesorado de ciencias<sup>273</sup>.

La quinta sección se desmarca un poco de las anteriores; se plantean algunos elementos conceptuales novedosos que constituyen la contribución que se hace desde esta tesis al modelo de ciencia escolar, y que sirven para la construcción de la aplicación. Estos elementos, además, se están poniendo a prueba actualmente en tres investigaciones en las que estamos participando<sup>274</sup>.

La sexta sección desarrolla los cinco elementos que hemos seleccionado para que los futuros profesores de ciencias fundamenten epistemológicamente la ciencia escolar (estructura macrocurricular, estructura microcurricular, lenguaje, analogía y

---

<sup>272</sup> Para ello seguiremos de cerca el texto de uno de nuestros trabajos (Izquierdo y Adúriz-Bravo, en prensa).

<sup>273</sup> Esto es lo que Piet Lijnse (2000) llama dar sentido *didáctico* a nuestra aportación.

<sup>274</sup> La primera (Adúriz-Bravo, Meinardi y Duschl, 2000) utiliza el modelo cognitivo de ciencia para entender las ideas de los estudiantes acerca de la evolución biológica. La segunda (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001b, 2001d; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Duschl, 2001) propone un crédito variable de ESO alrededor del tema de la *acústica*. La tercera (Galagovsky et al., 1999; Meinardi et al., en prensa) explora las consecuencias de una aproximación cognitiva al desarrollo curricular en ciencias en el contexto de la reforma educativa argentina.

metaciencias). La séptima y última sección presenta al profesorado de ciencias nuestro constructo de *función modelo teórico*.

### 12.1 La ciencia escolar como objeto epistemológicamente autónomo

El objetivo de la “ciencia para todos” requiere fundamentar la ciencia escolar

La necesidad actual de una educación científica democrática y de calidad para toda la población ha tornado indispensable y urgente la reflexión sobre la cuestión de qué es la ciencia escolar y cuáles son sus fundamentos epistemológicos (Astolfi et al., 1997; Porlán y Rivero, 1998; Izquierdo, 2000a). Llevar la ciencia a grandes capas de la población y desde etapas muy tempranas, con el fin de preparar a los ciudadanos para su desempeño en las sociedades democráticas, exige un estudio de los mecanismos conceptuales de la transposición didáctica<sup>275</sup>.

Un modelo teórico de estos mecanismos haría posible una expansión de la educación científica guiada por valores epistémicos y éticos que no son exactamente los de la propia ciencia erudita. Con una fundamentación epistemológica adecuada, podría construirse una ciencia escolar encaminada hacia el mejor cumplimiento de los objetivos generales de la educación científica actual, desde una perspectiva eminentemente democratizadora, emancipadora y crítica (AAAS, 1989; Levinson, 1994; Millar y Osborne, 1998; Kolstø, 2000, en prensa-a; Villamañán y Adúriz-Bravo, 2001).

Ahora bien, la fundamentación epistemológica disponible tradicionalmente para la ciencia escolar es coherente con un modelo de transposición didáctica *lineal*, en el cual aquella es nada más que una *simplificación* de la ciencia erudita, adaptada al nivel cognitivo de los estudiantes y a las restricciones del currículo de ciencias socialmente impuesto. En este contexto, se ha usado reiteradamente una analogía entre el estudiante y el científico, que hoy en día está fuertemente cuestionada desde la investigación sobre

---

<sup>275</sup> La idea pionera de una epistemología *desde el punto de vista del estudiante* aparece en el trabajo que Mercè Izquierdo presentó en Minneapolis frente al IHPST Group (Izquierdo, 1995b).

la cognición (Gil-Pérez, 1993; Giere, 1996; Gopnik, 1996; Gutiérrez, 1999; Pozo, 1999b).

¿El estudiante como científico? La analogía del estudiante como científico fue considerada apropiada por un siglo en la educación científica, porque esta era concebida para una élite y se concentraba en las últimas etapas de la educación formal; pero hoy en día, en el panorama de los importantes cambios que se dan sobre estos supuestos básicos, la analogía está mostrando sus grandes insuficiencias (Gopnik, 1996; Duschl et al., 1999). La ampliación que hace Echeverría (1995) del concepto epistemológico clásico de *contexto* puede ayudarnos a entender el porqué de estas insuficiencias.

La reflexión actual sobre la ciencia, desde las perspectivas de las escuelas epistemológicas que hemos llamado *nueva filosofía de la ciencia, postmodernismo y visiones contemporáneas*, señala los problemas de esta analogía y aporta elementos para modificarla, enriquecerla y hacerla más potente. Los nuevos modelos acerca de la ciencia erudita que estas corrientes epistemológicas proveen pueden ser también útiles –previa adaptación– a la hora de caracterizar analógicamente la ciencia escolar (Izquierdo, 1995b; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2001, en prensa), y esto es lo que intentamos mostrar al profesorado de ciencias en esta aplicación.

Para muchos didactas de las ciencias<sup>276</sup>, la educación científica, para ser significativa, debe generar cambios epistémicos, cognitivos, discursivos, conductuales, materiales y sociales en la clase de ciencias. Con este objetivo, y desde hace unos quince años (como ya explicamos en la primera parte de la memoria), los modelos didácticos incorporan una *componente epistemológica* (Matthews, 1994b, 1998, 2000), que es la que justifica el propio contenido a enseñar pero también las actividades de *gestión* de ese contenido en el sistema didáctico (Adúriz-Bravo, 1999b, 2000e). Ahora bien, esta componente epistemológica de los modelos didácticos, muchas veces implícita, incompleta o

---

<sup>276</sup> Galagovsky (1993); Gil-Pérez (1993); D. Kuhn (1993); Levinson (1994); Solomon et al. (1994); Duschl (1997, 1998); Jiménez Aleixandre (1998); Ogborn (1999); Osborne (1999); Martins (2000).

inconsistente, debe ser revisada y fundamentada (Aliberas et al., 1989; Cleminson, 1990; Bereiter, 1994; Cobb, 1994; Driver et al., 1994; Matthews, 1994b; Izquierdo, 1999b, 2000a).

La fundamentación epistemológica de la propia didáctica de las ciencias, a su vez, debería tener en cuenta los modelos epistemológicos del profesorado de ciencias, para sintonizar con ellos y poder enriquecerlos adecuadamente (Monk y Osborne, 1997; Izquierdo, 1999b). Esto sería congruente con el modelo tecnocientífico de la didáctica de las ciencias que hemos desarrollado en la segunda aplicación.

|  |  |
|--|--|
| Se remite a las ideas de los profesores de ciencias acerca de la naturaleza de la ciencia (capítulo 3) | Como hemos expuesto en la primera parte de la tesis, se dispone hoy en día de evidencias de que los modelos sobre la naturaleza de la ciencia que sustenta el profesorado de ciencias tienen implicancias en sus modelos didácticos específicos (Lederman, 1995; McComas, 1998b; Porlán y Rivero, 1998; Adúriz-Bravo, Salazar et al., en prensa), y por ello merecen atención en la investigación didáctica de las ciencias. |
|--|--|

Los resultados de las investigaciones de la línea NOS, de los que nos hemos ocupado en el capítulo 3, muestran que los modelos de ciencia del profesorado, aunque insuficientes, se encuentran actualmente bastante alejados del dogmatismo, el cientificismo y el empirismo ingenuo (neo)positivistas (Gwimbi, 2000; Perafán, 2000, 2001; Salazar, 2000; Kichawen, 2001; Adúriz-Bravo, Salazar et al., en prensa). La nueva filosofía de la ciencia ha llegado al aula de ciencias de la mano del constructivismo, instalando visiones *contextualistas* más adecuadas a los objetivos generales de la educación científica (Koulaidis y Ogborn, 1989, 1995).

El papel de la sociología de la ciencia de los años '80 y '90 también ha sido importante en esta dirección, particularmente en el mundo anglosajón, pero el uso indiscriminado y acrítico de los modelos exageradamente *relativistas* que ella propugna la ha vuelto una influencia perniciosa para la alfabetización científica (Koertge, 1998; Izquierdo, 2000a; Matthews, 2000). Hoy en día se hace necesario considerar en forma más equilibrada los aspectos epistémicos, cognitivos, discursivos, materiales y sociales, a fin de construir una imagen de la ciencia que sea *realista* y *racionalista*, a la vez que adecuada para su

introducción en la escuela (AAAS, 1989; Izquierdo, 1995a, 1995b, 1999b, 2000a; Koertge, 1998; Adúriz-Bravo, 1999b, 2000a, 2000c; Izquierdo et al., 1999; Matthews, 2000; Good y Shymansky, 2001).

Para la fundamentación de la ciencia escolar, sustituimos el *postmodernismo* por las visiones contemporáneas

Los modelos relativistas de la sociología de la ciencia, especialmente los que provienen del llamado *strong programme* (Gooding, 1992), son insuficientes para fundamentar epistemológicamente la ciencia escolar. Ellos incorporan una llamada de atención sobre los aspectos de creatividad e invención, discusión y consenso, negociación y poder, relatividad y provisoriedad del conocimiento, pero fallan al poner en un segundo plano los aspectos semióticos intrínsecos de la ciencia, que tienen que ver con su naturaleza fundamentalmente teórica, su lenguaje versátil y pragmáticamente complejo, su uso potente del proceso de modelización, y su relación activa e instrumentalmente mediada con los fenómenos naturales, caracterizable como una *intervención* (Hacking, 1983; Estany, 1993; Adúriz-Bravo, 1999b; Izquierdo, 2000a; Estany e Izquierdo, en prensa).

Se necesita un modelo epistemológico más completo que tenga en cuenta, además de la dimensión social, las dimensiones *epistémica* (del conocimiento en sí), *cognitiva* (de las representaciones mentales), *praxeológica* (de las acciones) y *semiótica* (de los sistemas de símbolos). Para ello hay que dar un nuevo sentido a la analogía del estudiante como científico (Gopnik, 1996).

En este contexto, las aportaciones importantísimas de la *concepción semántica* de la epistemología (Suppe, 1979; Mosterín, 1982; Moulines, 1982, 1991) pueden ser de gran utilidad para conseguir estos objetivos de integración, debido a la preocupación de esta corriente epistemológica por la forma en que la ciencia *da sentido* al mundo. Entre los modelos semánticos, el modelo cognitivo de ciencia en particular<sup>277</sup> combina una serie de elementos teóricos que lo hacen especialmente susceptible de proveer una

<sup>277</sup> Giere (1992a, 1992b, 1999b, 1999c, 2001).

fundamentación de la ciencia escolar compatible con el realismo y el racionalismo, y que contenga y coordine todas las dimensiones de análisis anteriormente citadas.

Nuestra epistemología de la ciencia escolar se basa en el modelo cognitivo de ciencia, siguiendo la sugerencia de los miembros del DDMCE

El reconocimiento de esta potencia heurística ha llevado a que los primeros intentos de fundamentación epistemológica de la ciencia escolar generados en el Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals de la Universitat Autònoma de Barcelona<sup>278</sup>, se valieran principalmente del modelo cognitivo de ciencia. Nosotros seguimos en esta misma línea, pero expandiéndola con aportes de otras escuelas epistemológicas.

En la siguiente sección recogemos, para referencia de los lectores, las principales características del modelo cognitivo de ciencia, antes de pasar a aplicarlo a la ciencia escolar. El modelo se desarrolla más extensamente en la obra fundamental de Giere (1992b), *La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo*.

## 12.2 Herramientas teóricas para fundamentar la ciencia escolar

La epistemología en la segunda mitad del siglo XX

Desde el final de la segunda guerra mundial se han producido importantes cambios en el conocimiento acerca de la naturaleza de la ciencia (conocimiento metacientífico). Muchos de estos cambios han comenzado a influenciar positivamente la educación científica, al ser incorporados por el profesorado de ciencias a sus prácticas profesionales (Abimbola, 1983; Nussbaum, 1989; Cleminson, 1990; Izquierdo, 1995; Adúriz-Bravo, 1999b). Resumimos aquí brevemente los cambios más importantes en la epistemología del siglo XX, a fin de contextualizar la aparición del modelo cognitivo de ciencia<sup>279</sup>.

---

<sup>278</sup> Expuestos en Izquierdo (1992, 1994b, 1995a, 1995b).

<sup>279</sup> El lector interesado puede encontrar visiones más completas en Chalmers (1984, 1992), Estany (1990, 1993), Coffa (1991), Gillies (1995), Losee (1997), Echeverría (1999), Rosenberg (2000), y en la primera parte de esta tesis.

El positivismo lógico instaurado por el círculo de Viena en la década del '20 afrontó la tarea de fundamentación epistemológica de la ciencia erudita desde un punto de vista eminentemente *logicista*, fuertemente influenciado por los espectaculares avances de la metamatemática y de la física teórica de finales del siglo XIX y principios del XX (Coffa, 1991). La reformulación estadounidense del positivismo lógico posterior al Tercer Reich, bautizada como *concepción heredada*, recogió el guante de las críticas que le formulara el racionalismo crítico, pero no abandonó su ideal epistémico internalista de *reconstrucción racional*.

A fines de la década del '60, la concepción heredada, y toda la epistemología analítica en general, perdieron peso en la escena metacientífica debido a su incapacidad de dar respuesta a la gran cantidad de anomalías que enfrentaban (Suppe, 2000). La ambiciosa tarea de la reconstrucción lógica de la ciencia fue paulatinamente abandonada después de experimentar sucesivas modificaciones más o menos drásticas, tales como la aplicación de la lógica conjuntista dentro de la *concepción estructural* (Stegmüller, 1979; Mosterín, 1982, 1984; Moulines, 1982, 1991; Estany, 1993).

La naturaleza eminentemente teórica de la ciencia quedó establecida a partir de una variedad de trabajos disidentes con la concepción heredada, que plantean, entre otras cosas, la idea de que la observación está *cargada de teoría* (Hanson, 1971). Por otra parte, la lingüística de la ciencia se perfiló como una metaciencia interesante, con sus nuevas perspectivas *pragmática* y *retórica*, inspiradas en parte en el segundo Wittgenstein (Izquierdo, 1999b; Acero, 2000; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2001). Una serie de estudios lingüísticos mostraron que el lenguaje científico posee muchas características comúnmente atribuidas sólo al lenguaje del sentido común o al lenguaje literario (Gross, 1990; Halliday y Martin, 1993; Adúriz-Bravo, Moliné y Sanmartí, 2001).

A esto se sumó la *irrupción* de la historia de la ciencia en la epistemología (Estany, 1990, 1993), que iluminó la ausencia de linealidad en el progreso científico y la existencia de verdaderas *revoluciones*, a modo de profundas discontinuidades en los paradigmas científicos. La nueva filosofía de la ciencia se dedicó a explicar estas revoluciones en términos de factores tanto internos como externos (Kuhn, 1962, 1971).

Estos auténticos cambios de Gestalt que se producen en las revoluciones científicas son tan profundos que modifican el sentido que se da a la evidencia empírica, generando incluso la *incommensurabilidad* de los paradigmas rivales y dificultando la comunicación entre científicos.

Ahora bien, si se lleva esta línea hasta su extremo y se considera que la evidencia empírica carece de valor para aceptar o rechazar las teorías, queda construido un panorama fuertemente *irracionalista*<sup>280</sup>, contradictorio con la propia naturaleza de la ciencia y, sobre todo, con el contexto de educación científica (Matthews, 1994a, 2000; Koertge, 1998). Los modelos de *dinámica científica* debidos a Imre Lakatos (1971), Stephen Toulmin (1977) y Larry Laudan (1978) recobran la componente intrínsecamente racionalista de la ciencia, aunque la versión de racionalidad que ellos propugnan es más bien categórica, extensivamente reconstruida por medio de la lógica formal. Actualmente hablamos de una *racionalidad moderada* para la ciencia (Newton-Smith, 1981; Chalmers, 1984), caracterizada –en forma naturalista– por los objetivos cognitivos que guían la acción científica (Giere, 1991, 1992b).

Recientemente ha habido una recuperación del interés por el contexto científico de descubrimiento<sup>281</sup>, que había sido dejado de lado por la epistemología clásica, de corte *justificacionista* (Echeverría, 1995). En este contexto, se considera que la propia *actividad* científica es de interés para la epistemología, que se vuelca así hacia la *praxeología*. Se ha mostrado también la importancia que tienen, para el contexto de innovación, los razonamientos abductivo, relacional e inductivo, y el pensamiento creativo, lateral y divergente (Giere, 1992a, 1992b; Samaja, 1994; Gardner, 2000).

Sumado a todo esto, estamos asistiendo a la llamada *naturalización* de la epistemología (Almeder, 1993; Siegel, 1993; Loving, 1997; Ambrogio, 2000), que pretende acercarla a otras disciplinas empíricas ocupadas del conocimiento. Esta naturalización, sin embargo, no necesariamente implica una *reducción* a la psicología o a la biología (Estany, 1993, 1999).

---

<sup>280</sup> Por ejemplo, el que explora Paul Feyerabend (1975).

<sup>281</sup> O contexto de *innovación* (Echeverría, 1995).

Con el telón de fondo de la epistemología naturalizada, se ha producido en los últimos años el llamado *giro cognitivo* en la disciplina, que ha buscado la congruencia de los modelos de ciencia con los hallazgos recientes de la ciencia cognitiva (Giere, 1992a, 2001; Estany, en prensa).

Hemos hablado entonces de los siguientes elementos epistemológicos importantes:

- |   |   |
|---|---|
| Elementos<br>que dan lugar<br>a la<br>concepción<br>semántica | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. críticas a la concepción heredada desde diversos frentes,</li> <li>2. nuevas visiones sobre el lenguaje científico,</li> <li>3. irrupción de la historia en la epistemología,</li> <li>4. desplazamiento del interés de la epistemología hacia la actividad científica,</li> <li>5. naturalización de la epistemología, y</li> <li>6. giro cognitivo en los estudios sobre la ciencia.</li> </ol> |
|---|---|

Es en este panorama epistemológico que surge la *concepción semántica* de las teorías científicas como línea epistemológica general (Giere, 1988, 1992b; Suppe, 1979, 1989, 2000) que plantea una serie de herramientas teóricas innovadoras. Esta línea experimenta un desarrollo espectacular en los últimos treinta años<sup>282</sup>.

### 12.2.1 *El modelo cognitivo de ciencia*

|  |   |
|--|---|
| Recuperamos<br>la aportación de<br>Ronald Giere<br>para la<br>didáctica<br>de las ciencias | <p>Una aportación que consideramos extremadamente importante dentro de la concepción semántica, es aquella debida al epistemólogo estadounidense Ronald Giere, de la University of Minnesota, concentrada en la relación semántica entre las teorías y el mundo, que estuvo descuidada por mucho tiempo en la epistemología. Giere utiliza como unidad de análisis epistemológico el <i>modelo teórico</i>, que, a modo de <i>conceptor</i> (Moulines, 1982, 1991; Mosterín, 1984; Adúriz-Bravo, 1999b; Izquierdo, 1999b), permite conectar con los marcos teóricos</p> |
|--|---|

---

<sup>282</sup> Para Fred Suppe (2000), se trata de la escuela más prometedora para el crecimiento de la epistemología en el futuro inmediato.

actuales de las disciplinas que se ocupan del conocimiento y la cognición.

Algunas de las visiones contemporáneas en la epistemología han recuperado el intento quineano de naturalización de la disciplina, acercándola a otras disciplinas empíricas, particularmente a aquellas que participan del área llamada *ciencia cognitiva* (Estany, 1999). Algunos modelos epistemológicos recientes han sido elaborados con la intención de incorporar los hallazgos de la investigación cognitiva y de ser congruentes con los modelos sobre el conocimiento cotidiano o del sentido común (Estany, 1990, 1993, 1999, en prensa; Izquierdo, 1999a). El modelo cognitivo de ciencia apunta en esta dirección, sin constituir un intento de reducción de la epistemología a la psicología.

El modelo cognitivo de ciencia supone un cambio de perspectiva epistemológica desde el estudio del *conocimiento* científico (la ciencia como producto) hacia el estudio de la *actividad* científica (la ciencia como proceso). La actividad científica, además, no es abordada con el enfoque *metodológico* clásico (Echeverría, 1999), sino considerada desde sus aspectos cognitivos, sociales, tecnológicos y didácticos, entre otros.

Se introduce el concepto de *similaridad*

La unidad estructural y funcional del modelo cognitivo de ciencia es el llamado *modelo teórico* (Giere, 1986, 1992b). Los modelos teóricos son representaciones mentales (internas y abstractas) de la realidad, comparables a verdaderos *mapas* del mundo. Estos modelos teóricos están conectados a la realidad a través de relaciones no lingüísticas (analógicas) de *similaridad*.

La idea epistemológica de similaridad, tal cual la desarrolla Giere (1992a, 1992b), combina las relaciones clásicas de *correspondencia* y de *convención*, exploradas por la concepción heredada y por la nueva filosofía de la ciencia respectivamente. Es decir, la idea de similaridad entre los modelos y el mundo presupone cierta conexión realista profunda entre unos y otros, pero a la vez admite una parte de arbitrariedad en el establecimiento de los sistemas de símbolos que definen aquellos modelos.

El modelo cognitivo considera la ciencia como una actividad cuyo fin último es *otorgar sentido* al mundo e intervenir en él. En este proceso de creación de significados, los

factores epistémicos, cognitivos, discursivos, materiales y sociales participan influenciándose mutuamente en forma sistémica. Las *teorías*<sup>283</sup> son las entidades más importantes de la ciencia, ya que se perfilan como los instrumentos culturales que permiten explicar el mundo (Hacking, 1983; Giere, 1992a; Duschl, 1997). El contexto en el que se generan las teorías científicas, y las características sociales del grupo que las produce, tienen profundas influencias en los objetivos de la ciencia y en la visión particular del mundo que ella provee. Así, las teorías

dependen, en general, de todas las variables que influyen en las producciones humanas.  
(Izquierdo, 1999b: 7)

Esta afirmación, sin embargo, no comporta la aceptación de una postura relativista, ya que el modelo cognitivo de ciencia también da cuenta de la relación semiótica entre las teorías y sus referentes. Según el *realismo pragmático* (Giere, 1999a), las componentes teórica y empírica se justifican mutuamente y por diversos mecanismos *de uso*. Las teorías permiten la reconstrucción conceptual de los hechos para dar respuesta a problemas relevantes pragmáticamente formulados. Los hechos, a su vez, van llenando de sentido las teorías, expandiendo su dominio semántico.

Ahora bien, la reconstrucción de las teorías científicas en términos *axiomáticos*, intrínseca a la concepción heredada, ha probado ser una tarea con poca utilidad en la realidad de la investigación científica (Giere, 1992b; Suppe, 2000). En este sentido, el modelo cognitivo de ciencia se preocupa más por el uso que los científicos hacen de las teorías, y por la forma en que se las transmiten y apropian, que por una estructura formal idealizada, ausente casi siempre de la actividad científica y de los libros de texto. Esta preocupación requiere prestar especial atención a los mecanismos *analógicos* en las ciencias (Giere, 1992a, 1992b, 1999a, 1999c).

El modelo cognitivo de ciencia parece ser adecuado para caracterizar el contexto científico de innovación, en el que se llevaría a cabo el desarrollo teórico. Sus resultados –de entre todos los actualmente disponibles– parecen ser los más idóneos para caracterizar la ciencia escolar, por la atención que prestan a la componente semántica de

---

<sup>283</sup> Familias de modelos.

las teorías, capaz de conectar con modelos teóricos sobre el aprendizaje y la enseñanza (Izquierdo, 1999b, 2000a).

El modelo cognitivo de ciencia es *realista* Como se dijo, la aceptación de la relación de similaridad entre las teorías y la realidad es una pieza clave para aceptar la convencionalidad socioconstruida del conocimiento científico sin renunciar por ello a un realismo fuerte como *modelo de correspondencia* (Adúriz-Bravo, 2000c)<sup>284</sup>. Las relaciones analógicas entre la teoría y el mundo están expresadas por medio de las llamadas *hipótesis teóricas*, lingüísticamente formuladas, que poseen contenido empírico, y a las que tiene sentido atribuirles un *valor de verdad* en el sentido clásico.

Una teoría científica puede ser vista entonces como una *familia de modelos*, caracterizada mediante diferentes lenguajes, y conectada al mundo por medio de un conjunto de hipótesis teóricas que establecen el grado de similaridad entre este y aquella (Adúriz-Bravo, 1999b). La teoría contiene sus interpretaciones empíricas, que son los sistemas enlazados por sus modelos, y no está completa si no aparece aplicada al mundo (Moulines, 1982, 1991; Giere, 1986, 1992b, 2001; Suppe, 2000).

El modelo cognitivo de ciencia es *racionalista* El modelo cognitivo de ciencia echa mano también del concepto naturalista de *racionalidad hipotética*, que es aquella que caracterizaría toda actividad intelectual dirigida por sus fines. Se trata de describir las estrategias cognitivas usadas por los científicos en forma instrumental para la consecución de esos fines epistémicos.

La presencia de estos elementos que hemos delineado, hace que la *aproximación cognitiva* (Giere, 1992b, 2001) al estudio de la ciencia sea capaz de establecer relaciones teóricas con otras metaciencias, y en especial con la ciencia cognitiva, la historia de la ciencia y la sociología de la ciencia (Nersessian, 1989, 1992; Chi, 1992; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2001). De allí su relevancia para la didáctica de las ciencias,

---

<sup>284</sup> Es decir, el modelo de relación entre conocimiento y realidad (capítulo 5).

que es una metaciencia ocupada de integrar coherentemente diversos elementos teóricos con el fin de mejorar la educación científica<sup>285</sup>.

En el contexto del modelo cognitivo de ciencia, el *aprendizaje* de las ciencias puede ser modelizado como otro aspecto del propio desarrollo de las ciencias (Chi, 1992; Nersessian, 1992; Gilbert, 1999). De allí la importancia de estudiar la especificidad de la ciencia en el contexto de educación sin presuponer que se guía estrictamente por la misma lógica que la ciencia erudita.

|  |  |
|--|--|
| La ciencia escolar como una actividad que <i>da sentido</i> al mundo | Podemos caracterizar la educación científica por su objetivo cognitivo de <i>enseñar a los estudiantes a pensar por medio de teorías para dar sentido al mundo</i> (Izquierdo, 2000a). En este contexto, una cuestión fundamental es investigar cómo son las <i>teorías científicas escolares</i> . El modelo cognitivo de ciencia dispone de las herramientas teóricas para responder a esta pregunta con cierta especificidad. |
|--|--|

El modelo cognitivo de ciencia rebate la idea de que la estructura formal y la definición lingüística de la teoría son sus características más importantes. Este modelo, incorporado a la didáctica de las ciencias, se opondría a los intentos de desarrollo curricular que ponen la *estructura* de la ciencia en el centro del aprendizaje de los estudiantes (Adúriz-Bravo, Izquierdo y Duschl, 2001; Adúriz-Bravo, Duschl e Izquierdo, en revisión).

El modelo cognitivo de ciencia afirma que la función central de una teoría es la de permitir a sus usuarios la comprensión del mundo; si la teoría falla en este aspecto, no tiene ningún valor en la ciencia erudita. La consecuencia didáctica de esta afirmación es fuerte porque desautoriza buena parte de lo que se ha hecho en la enseñanza de las ciencias tradicional. Creemos que aquellas teorías escolares que no conectan firmemente con hechos del mundo para darles sentido, no deberían tener cabida en la educación científica.

---

<sup>285</sup> Esta es la idea de los registros, que presentamos en la segunda aplicación de la tesis.

Tenemos ya brevemente descritos los elementos del modelo cognitivo de ciencia que utilizamos para caracterizar la ciencia escolar:

- |   |  |
|---|--|
| Elementos del modelo cognitivo para caracterizar la ciencia escolar | 18. epistemología naturalizada,                  |
|   | 19. actividad científica,                        |
|   | 20. modelo teórico,                              |
|   | 21. fines epistémicos,                           |
|   | 22. modelo gnoseológico racionalista y realista, |
|   | 23. creación de significados (semiosis), y       |
|   | 24. aproximación cognitiva a la ciencia.         |

### 12.3 Un modelo cognitivo para la ciencia escolar

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| La ciencia escolar como una actividad | Como dijimos, el modelo cognitivo de ciencia presenta la <i>actividad</i> científica como una empresa intelectual que se propone interpretar la realidad mediante las capacidades cognitivas humanas de representarse teóricamente el mundo, de comunicar en forma inteligible estas representaciones, y de progresar en la consecución de fines tanto <i>epistémicos</i> como <i>aléticos</i> (Newton-Smith, 1986; Giere, 1992b). Es entonces útil para la modelización de la ciencia erudita y <i>también</i> de la ciencia escolar, en tanto que ambas son actividades fundamentalmente guiadas por objetivos cognitivos, expresados externamente en objetivos epistémicos socialmente compartidos. |
|---------------------------------------|--|

Ambas ciencias se proponen entender el mundo por medio de teorías y comunicar este entendimiento a través de un lenguaje significativo y riguroso. Pero también hay importantes diferencias entre estos dos tipos de ciencia, fundamentalmente ubicadas a nivel de los *valores* que las sustentan (Izquierdo, 1999b)<sup>286</sup>.

---

<sup>286</sup> Establecer estas diferencias implica considerar ambas ciencias *distintas* pero no *separadas*. La ciencia escolar sería un estadio previo necesario para llegar a la ciencia erudita. Somos conscientes de que esta afirmación es polémica, pero queremos separarnos de la educación científica tradicional que impone la ciencia erudita, sin mediaciones, en la escuela.

La ciencia escolar está de alguna manera *sobredeterminada* por la ciencia erudita, en el sentido de que la primera debe ser construida normativamente teniendo como límite último ideal a la segunda (Chevallard, 1997), considerada como el referente cultural socialmente impuesto. Sin embargo, en este proceso de construcción de la ciencia escolar, el margen de libertad es muy amplio, y abre el juego para una intervención profesional del profesorado de ciencias (Izquierdo, 1999b, 2000a, en preparación).

Examinamos ahora algunas características de la ciencia escolar en las que esta difiere de la ciencia erudita; el modelo cognitivo nos ayuda a iluminar estas diferencias y conectar fuertemente ambas clases de ciencia. Intentamos mostrar que la ciencia escolar puede ser reconstruida a la luz del modelo cognitivo, como ya se hace con la ciencia erudita en sus diferentes aspectos<sup>287</sup>.

### 12.3.1 *Características de la ciencia escolar*

*Fines, medios e instrumentos de la ciencia escolar* La visión *reticular* de Laudan (1978), ya mencionada en esta tesis, plantea la interacción triádica de *fines* (objetivos), *medios* (metodología) e *instrumentos* (representaciones) en el proceso de construcción de la ciencia. Estos tres elementos pueden servir para caracterizar también el funcionamiento de la ciencia escolar, desde el punto de vista del modelo cognitivo de ciencia.

#### 12.3.1.1 Los objetivos: dar sentido al mundo

El estudio de las ciencias naturales es obligatorio e importantísimo dentro del currículo, independientemente de los intereses de los estudiantes. La retórica de la ciencia escolar está condicionada entonces por esta *normatividad* intrínseca, en la cual el profesor tiene un rol esencial (Groisman et al., 1991). Este aspecto normativo tiene una influencia directa sobre las actividades diseñadas para enseñar ciencias en la escuela, ya que debe ser compatibilizado con la *originalidad* del conocimiento escolar y con la *autonomía* intelectual de los estudiantes. La normatividad también plantea una diferencia entre la

---

<sup>287</sup> Ver: Carey (1992); Chi (1992); Giere (1992a); Gooding (1992); Nersessian (1992).

ciencia erudita y la escolar: aunque ambas responden a valores externos, su grado de autonomía respecto de los mandatos sociales es distinto.

Los científicos eligen, dentro de ciertos márgenes amplios, tanto los problemas relevantes a estudiar como los modelos teóricos y los sistemas de símbolos con los que darán respuesta a estos problemas. En la ciencia escolar esto no es del todo posible, aunque muchas veces la didáctica de las ciencias ha afirmado lo contrario<sup>288</sup>.

La ciencia escolar tiene objetivos educativos

La ciencia escolar tiene objetivos educativos. La ciencia escolar tiene objetivos diferentes a los de la ciencia erudita, conectados con los valores de la *educación* general que la escuela pretende transmitir. La ciencia escolar, además, puede ser relacionada con las ciencias sociales, las otras áreas curriculares, y la propia epistemología, de modo de presentarse significativa (Izquierdo, 1999b). En este sentido, los valores generales de la educación tienen dos importantes resultados: alejan la ciencia escolar de la *hiperespecialización* y la *autoconsistencia* características de la ciencia erudita<sup>289</sup>, y la ponen al servicio de la formación de un utópico ciudadano autónomo, creativo, crítico y solidario.

Los científicos construyen, modifican y difunden las teorías subordinándolas al fin epistémico de dar sentido a un mundo artificialmente transformado por la tecnología más compleja. Esta actividad no es viable, exactamente reconstruida, en el aula de ciencias, pero es posible pensar en una actividad análoga que sea educativamente valiosa para los estudiantes.

El objetivo central de la educación científica también es interpretar el mundo a través de modelos teóricos (AAAS, 1989; Duschl, 1997; Millar y Osborne, 1998; Izquierdo, 1999b, 2000a, en preparación), y he aquí la conexión con la ciencia erudita. Pero el valor esencialmente formativo y emancipatorio de tal interpretación teórica no es una característica epistémicamente central en esta última, mientras que sí lo es en la ciencia

---

<sup>288</sup> Particularmente desde una visión socioconstructivista radical (Reif y Larkin, 1991).

<sup>289</sup> Características criticadas por Chapman (1991) y Maxwell (1992).

escolar. Los estudiantes deberían llegar a comprender que el mundo natural presenta una cierta estructura interna que es susceptible de modelización teórica, pero también deberían reconocer que esta modelización teórica parte del interés por mejorar su calidad de vida y la de los demás.

|   |   |
|---|---|
| Se introduce el concepto de <i>argumentación científica escolar</i> | Para conseguir tan ambicioso objetivo, el profesorado de ciencias presenta una serie de hechos y fenómenos didácticamente significativos, reconstruidos teóricamente por medio de sistemas simbólicos (Izquierdo y Márquez, 1993). Sobre estos hechos paradigmáticos se construyen los diversos aspectos de los modelos teóricos escolares, por medio de <i>argumentaciones científicas escolares</i> específicamente diseñadas (Duschl, 1998; Jiménez Aleixandre, 1998; Sardà y Sanmartí, 2000). |
|---|---|

El compromiso de los profesores de ciencias con la difusión y la perpetuación de la ciencia los lleva a presentarla inmersa en una retórica de verdad incuestionable. Pero esta retórica debe ser compatible con la educación integral del ciudadano (Millar y Driver, 1987). Ahora bien, aprender ciencia no es “hacer ciencia”: las profundas diferencias entre estas dos actividades son objeto de reflexión de la propia didáctica de las ciencias (Adúriz-Bravo, 1999b; Izquierdo, 1999b).

Dentro de un marco constructivista, la tarea profesional de los profesores de ciencias es la de *transponer* la ciencia erudita acercándola a los modelos del sentido común que manejan los estudiantes. Para ello, el profesorado de ciencias puede recurrir a las analogías y metáforas que ayudan en la transición de unos modelos a otros (Duit, 1991; Flick, 1991; Ingham, 1991; Clement, 1993; Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001). La transposición didáctica puede ser vista entonces como un proceso de selección de grandes *problemas relevantes* (Adúriz-Bravo, 1993), que pueden estar inducidos por una serie de hechos del mundo con significado potente para los estudiantes.

|  |  |
|--|--|
| Se introduce el concepto de <i>mediación analógica</i> en la ciencia escolar | Esta afirmación sugiere que el proceso de <i>anclaje</i> de los modelos teóricos escolares puede hacerse a través de <i>mediadores</i> conceptuales (analógicos) que no necesariamente |
|--|--|

tengan la estructura formal estricta de los modelos teóricos eruditos. Tal posibilidad abre el juego para una gran cantidad de estrategias didácticas muy poderosas, que están presentes en el bagaje del conocimiento profesional de los profesores de ciencias desde tiempos inmemoriales (Solomon, 1994a; Ogborn et al., 1996; Izquierdo, 1999b). Exploramos algunas implicaciones de esta visión flexible y versátil de la ciencia escolar por medio de la introducción de nuestro concepto de *función modelo teórico*.

No todos los problemas relevantes ni todos los ejemplos paradigmáticos pueden ser abordados en la educación científica, según un principio de *economía didáctica* (Izquierdo, 1999b). Por ello, es quizás conveniente explorar aquellos ejemplos que plantean relaciones más ricas con otras disciplinas escolares y permiten conseguir la *transversalidad* del currículo (García y Merchán, 1997), demandando reflexiones filosóficas, históricas o sociológicas, y conectando con problemas éticos, culturales o sociales. Los profesores de ciencias, como representantes de la ciencia erudita en la escuela, eligen y priorizan aquellas características de los modelos teóricos escolares que son centrales en las *disciplinas* de origen (Gardner, 2000; Adúriz-Bravo, 2001f), entendidas como formas culturalmente valiosas de modelizar el mundo. Pero también conjugan esta visión disciplinar con los valores de la educación general.

El valor que la ciencia escolar tenga para los estudiantes dependerá fuertemente de que ellos sean capaces de *representarse* las finalidades de la educación científica en todos sus niveles (Sanmartí, 2000a), desde las orientaciones que guían la alfabetización científica para todos, hasta los objetivos específicos que persigue cada unidad didáctica en el aula de ciencias. En este sentido, lo que puede otorgar valor a la ciencia escolar es establecer objetivos epistémicos que tengan sentido para los estudiantes, a la vez que satisfagan sus expectativas acerca de la educación científica (Izquierdo, 1995b).

El objetivo principal de los científicos es la generación de conocimiento *original* sobre el mundo, que les permita intervenir activamente en él, a nivel macro-, meso- y microcósmico. Este objetivo aparta la ciencia erudita de su contraparte escolar. Pero la labor del profesorado de ciencias debe hacer aparecer la ciencia como algo inteligible en

sí mismo, por su relación sustantiva con el mundo real, y no como algo impuesto desde afuera:

Achieving the main goal of school science should then mean that the student is able to explain the world (its facts and phenomena) through scientific theories. (Izquierdo y Adúriz-Bravo, en prensa: 6)

Se introduce el concepto de *modelo teórico escolar* El aprendizaje de la ciencia no es del todo comparable a la creación de nueva ciencia, como lo sugiere la analogía del estudiante como científico. Pero el modelo de ciencia escolar que proponemos es coherente con una *hipótesis de continuidad* entre ambos tipos de ciencia (Pozo, 1999a, 1999b). El elemento en común entre la ciencia erudita y la ciencia escolar es el proceso de dar sentido al mundo mediante modelos teóricos. Entonces, son los *modelos teóricos escolares* las entidades mediadoras que deben asegurar esta continuidad entre ambos tipos de ciencia.

El modelo cognitivo de ciencia provee una caracterización contextual y evolutiva de las teorías, que las conecta con sus referentes empíricos y con los valores que las generan. También concibe el *método científico* como una estructura flexible, descrita en forma naturalista, que pone numerosas capacidades cognitivas muy variadas, evolutivamente desarrolladas (Giere, 1992b), al servicio del pensamiento teórico riguroso (Izquierdo, 2000a).

Usando la idea de los modelos teóricos podemos establecer un puente entre la ciencia erudita así caracterizada y su versión transpuesta escolar. Para ello, debemos enfocarnos en los puntos de contacto entre ambas ciencias, preservados en el proceso de transposición didáctica<sup>290</sup>.

---

<sup>290</sup> Hablamos de una transposición didáctica *homomórfica*, que preserva en la ciencia escolar los modelos irreductibles de la ciencia erudita.

### 12.3.1.2 Las representaciones: el pensamiento teórico

Para que la actividad científica escolar tenga sentido para los estudiantes y pueda generar en ellos un pensamiento crítico y creativo, es necesario plantear objetivos plausibles y valiosos desde el punto de vista de los estudiantes y del currículo de ciencias socialmente impuesto. Esto implica conectar significativamente el pensamiento del sentido común y la ciencia erudita, a través de encontrar hilos conductores entre sus respectivos modelos (mentales y teóricos).

|   |   |
|---|---|
| Se introduce el concepto de <i>actividad científica escolar</i> | En la escuela, el objetivo de aprender ocupa uno de los niveles más altos de la jerarquía de valores. Pero sólo se transforma en genuino objetivo epistémico (esto es, de conocimiento) de la <i>actividad científica escolar</i> si los estudiantes se lo apropian, pasando a considerar la ciencia escolar como una actividad cognitiva y social con sentido para ellos mismos. |
|---|---|

Ahora bien, la conciencia sobre los objetivos epistémicos de la actividad científica escolar es un proceso psicológico superior de índole metacognitiva, relacionado con la capacidad de *autorregular* la tarea de aprender ciencias (Sanmartí, 2000a). La autorregulación debería ser entonces parte integrante del proceso de aprendizaje de las ciencias, enmarcada en el llamado *contrato didáctico* (Sanmartí, 1995, 2000a, 2000b; Estany e Izquierdo, en prensa), que le da el sentido curricular y social. Los estudiantes deberían percibir explícitamente que son responsables de la construcción de su conocimiento teórico acerca del mundo natural.

|   |  |
|---|--|
| El profesorado de ciencias utiliza un <i>bagaje</i> de estrategias didácticas | Las ideas del sentido común que los estudiantes tienen acerca del mundo natural pueden resultar los <i>protomodelos</i> teóricos iniciales a considerarse en la clase de ciencias para el proceso de <i>anclaje</i> . La tarea del profesorado de ciencias sería conectar estas ideas con los modelos teóricos escolares, creando así un intertexto con los referentes culturales establecidos (Martins, 2001). Para ello, los profesores de ciencias se valen de estrategias didácticas que incorporan el uso de <i>mediadores</i> y que pongan la <i>analogía</i> en un lugar central. |
|---|--|

La educación científica transpone y reconstruye los modelos teóricos eruditos para tornarlos inteligibles y significativos para los estudiantes, en el contexto de la ciencia escolar. Si el proceso tiene éxito, los estudiantes incorporan criterios epistémicos sobre qué conocimiento sobre el mundo es válido, y cómo se justifica esa validez (Joshua y Dupin, 1993; Millar, 1994; Monk y Osborne, 1997; Monk y Dillon, 2000).

La libertad de trabajo que tienen los profesores de ciencias en el proceso de transposición didáctica es muy grande; ellos ponen en juego muchas estrategias complejas a la hora de diseñar actividades que pongan a los estudiantes en contacto activo con los fenómenos naturales. Para contribuir a la significatividad de estas actividades didácticas, puede ser útil organizarlas alrededor de los *modelos teóricos escolares*. Estos deberían conectar con las ideas de los estudiantes y tener potencia para dar sentido a hechos del mundo observados, culturalmente transmitidos, o generados por experimentación (Izquierdo y Márquez, 1993; Duschl, 1995, 2000c).

Las *teorías científicas escolares*<sup>291</sup> son naturalmente muy diferentes de las teorías científicas eruditas, tanto en sus aspectos representacionales como lingüísticos (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001). Sin embargo, ambas entidades están caracterizadas fundamentalmente por su poder explicativo. Las teorías científicas escolares, por tanto, deberían estar construidas de forma tal de permitir la evolución hacia entidades cada vez más elaboradas; la evolución se produciría incorporando paulatinamente más hechos a explicar (algunos de ellos, experimentalmente generados), y más sistemas simbólicos de representación.

#### 12.3.1.3 Los métodos: la experimentación y el lenguaje

En el modelo cognitivo de ciencia escolar tal cual lo presenta Mercè Izquierdo (2000a, 2001), la *experimentación* y el *lenguaje* son los dos elementos clave. Como señala Ralph Levinson (1994), un paso importante en la educación científica es encontrar el equilibrio

---

<sup>291</sup> Consideradas como *metaentidades* de alto poder de organización que estructuran los conjuntos de modelos teóricos escolares.

between interpreting scientists' ideas through what they say and write, on the one hand, and practical work to test their validity, on the other. (p. 3)

Representación, lenguaje y acción, entendidos como esferas independientes de la cognición, interactúan en forma armónica (figura 12.1)<sup>292</sup>. Sin embargo, en la ciencia escolar, el lenguaje “tira” de alguna manera de los otros dos elementos, para poder enriquecerlos en la evolución hacia el pensamiento teórico. Los lenguajes científicos escolares (operando en diferentes registros semióticos) dan sentido a la actividad y estructuran el pensamiento de los estudiantes.

|   |   |
|---|---|
| Se introduce el concepto de <i>experimentación científica escolar</i> | Por otra parte, los hechos empíricos sufren diversas <i>transformaciones</i> (Duschl, 1997, 2000c) para entrar a formar parte de la ciencia erudita, y son reconstruidos en el seno de las teorías por medio de la correlación entre acciones, representaciones, instrumentos y lenguaje (Izquierdo, 1995; Izquierdo et al., 1999). Esta idea es muy potente para construir una <i>experimentación científica escolar</i> . |
|---|---|

Las ideas de argumentar por escrito y construir hechos paradigmáticos en la clase de ciencias son entonces los dos pilares para la ciencia escolar. Estas ideas requieren que el profesorado de ciencias enseñe explícitamente a los estudiantes a usar el lenguaje científico (Sardà y Sanmartí, 2000) y a actuar científicamente sobre el mundo (Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999).

---

<sup>292</sup> Esta idea se debe al didacta de las ciencias italiano Paolo Guidoni.

## 12.4 Reconstrucción epistemológica de la ciencia escolar

El constructivismo didáctico de las ciencias es compatible con el modelo cognitivo de ciencia

Muchos autores<sup>293</sup> han mostrado que las orientaciones actuales de la didáctica de las ciencias modelan una ciencia escolar compatible con los postulados del modelo cognitivo de ciencia. Para cumplir el objetivo de construir conocimiento sobre el mundo natural, los estudiantes necesitan de *modelos teóricos escolares*; estos pueden ser generados en la clase, si el profesorado de ciencias planifica cuidadosamente la tarea de transposición didáctica.

Actualmente sabemos que los modelos didácticos que plantean el *redescubrimiento* de la ciencia erudita en el aula, o la implantación del método científico sin mayores mediaciones, conducen a resultados pobres en la educación científica (Hodson, 1992, 1994a, 1994b; Solomon, 1994b). Pero esto no significa que podamos desestimar de plano los valores de la ciencia erudita. La componente normativa de la ciencia erudita tiene que ser de alguna manera compatible con el respeto por la autonomía e individualidad de los estudiantes, contrario al adoctrinamiento y la masificación.

Las diferencias entre la ciencia erudita y la ciencia escolar no deberían conducir a una desconexión entre ambas. La segunda, constitutiva del contexto científico de educación, ha tenido históricamente, y tiene en la actualidad, una importancia decisiva en el desarrollo y perpetuación de la primera (Izquierdo, 1999b, en preparación). La historia de la ciencia muestra que la ciencia erudita evoluciona en buena medida siguiendo los lineamientos de lo que se enseña sobre ella (Hannaway, 1975; Nye, 1993; Izquierdo, 1995a, 1995b, en preparación); entonces, es deseable recuperar muchas de las características de la ciencia erudita en el aula de ciencias.

---

<sup>293</sup> Izquierdo (1995b; 1999b, 2000a, 2000b, en prensa-b); Aliberas (1994); Duschl y Erduran (1997); Giere (1999b); Linn (2000).

La ciencia escolar es realista y racionalista

La posibilidad de conectar ambas ciencias se apoya en el reconocimiento de que la voluntad de explicación teórica del mundo es la característica distintiva de la ciencia erudita y, *al mismo tiempo*, el principal objetivo *intrínseco* de la ciencia escolar. Con esta restricción, la ciencia escolar puede tornarse una actividad significativa para los estudiantes, que ponga a su disposición conocimiento sobre el mundo que esté epistemológicamente bien fundamentado, esto es, *que sea congruente con una visión realista y racionalista de la ciencia* (Shymansky y Good, 2001).

El modelo cognitivo de ciencia, aplicado a la ciencia escolar, enfoca la atención sobre los modelos científicos escolares y su rol en la interpretación teórica del mundo. Un aspecto central de la ciencia escolar, en su reconstrucción cognitiva, es el de su *evolución*: los modelos teóricos escolares se van enriqueciendo a medida que aparecen nuevos fenómenos naturales que requieren explicación teórica.

Se introduce el concepto de lenguaje científico escolar

Los lenguajes usados en la clase de ciencias (natural, simbólico, matemático, gráfico, computacional, gestual, artístico, entre otros muchos), y el nivel de abstracción que ellos pueden alcanzar sin perder la referencia, son determinados en cada situación con la ayuda del modelo de transposición didáctica y de acuerdo con una perspectiva realista pragmática.

El modelo cognitivo de ciencia escolar rechaza por una parte la creencia tradicional de que la presentación axiomática de las teorías sea valiosa per se en la ciencia escolar. Por otra parte, muestra que la comprensión del mundo guiada por objetivos cognitivos socialmente sancionados es crucial, y que cualquier teoría a la que le falte este elemento *axiológico* no tiene valor en la escuela.

El *valor epistemológico* que pueda tener la ciencia escolar queda entonces configurado a partir de la interacción entre los diversos elementos que le dan sentido, y que hemos venido enumerando. Pero, como consecuencia de estas ideas, aparecen nuevos

problemas teóricos y prácticos que es necesario investigar dentro de la didáctica de las ciencias (Izquierdo, 1995b).

|  |  |
|--|--|
| Se introduce el concepto de <i>hecho paradigmático</i> | El conocimiento teórico sobre el mundo parte de <i>problemas relevantes</i> (Adúriz-Bravo, 1993; Galagovsky, 1993b; Pessoa de Carvalho, 1994), e intenta darles solución enlazando analógicamente fenómenos naturales o artificialmente generados. Pero los hechos empíricos necesitan ser reconstruidos en el marco de las teorías científicas para tener sentido al ser sometidos a una intervención. La experimentación y el lenguaje son dos de los elementos clave en este proceso semiótico de otorgar sentido a la realidad (Levinson, 1994; Sutton, 1994). La idea de <i>hecho paradigmático</i> (Izquierdo y Márquez, 1993; Izquierdo, 1999b) puede ayudarnos a mostrar la relevancia de estos elementos en la ciencia escolar. |
|--|--|

La experimentación no puede tener en la ciencia escolar el mismo valor epistemológico que en la ciencia erudita<sup>294</sup>. La componente experimental tiene gran importancia en la ciencia erudita histórica y actual. El conocimiento científico sobre el mundo tiene una base fuertemente experimental, y los textos científicos presentan la experimentación como uno de los recursos retóricos destinados a *convencer* (Izquierdo, 2000c). La construcción teórica de un *hecho científico* está motivada por el deseo de dar sentido al mundo,

a wish to understand, to construct mental and discursive tools, to communicate ideas, and to be able to *intervene* on the world. (Izquierdo y Adúriz-Bravo, en prensa: 8)

|  |   |
|--|---|
| Se recupera la idea de <i>modelo teórico irreductible</i> (capítulo 5) | Resulta interesante promover procesos similares en la propia ciencia escolar, y construir modelos teóricos escolares que den sentido a hechos generados experimentalmente en el laboratorio |
|--|---|

---

<sup>294</sup> Hay mucha evidencia de que el laboratorio de ciencias escolar ha sido de poca ayuda a la hora de que los estudiantes construyan modelos teóricos escolares (Hodson, 1992, 1994a, 1994b; Solomon, 1994b).

científico escolar. Los hechos paradigmáticos que seleccionemos para la construcción del currículo de ciencias deberían ser muy pocos y muy potentes (Izquierdo, 1999b, en preparación). A partir de ellos, deberíamos generar los *modelos teóricos irreductibles*<sup>295</sup>. Esta generación teórica en la clase, a través de mecanismos retóricos, puede ser considerada uno de los objetivos centrales de la ciencia escolar (di Sessa, 1983; Izquierdo y Márquez, 1993).

Un hecho reconstruido al interior de la ciencia escolar usando inicialmente los modelos del sentido común de los estudiantes, puede proporcionar el anclaje para los modelos teóricos escolares, funcionando así de intermediario cognitivo y retórico. La relación de similitud entre modelos y fenómenos es significativa y nos ayuda a pensar sobre el mundo. Los fenómenos validan el modelo, pero es este último el que da sentido a aquellos, que sólo pueden ser entendidos en el marco del modelo. El realismo pragmático que queda así configurado escapa a los peligros del realismo ingenuo representacional y del instrumentalismo más extremo. El primero acepta acríticamente la existencia de todas las entidades teóricas; el segundo niega que las teorías científicas digan algo verdadero sobre el mundo.

La experimentación científica escolar, a su vez, debe ser *reconstruida por escrito* utilizando mecanismos de inscripción altamente elaborados y abstractos (Kuhn, 1993; Kelly et al., 2000). La aceptación de esta premisa deriva en un modelo didáctico que equipara la educación científica a *enseñar a los estudiantes a hablar y a escribir ciencias* (Lemke, 1990; Izquierdo y Sanmartí, 1998; Adúriz-Bravo, Moliné y Sanmartí, 2001). Esto incluye las capacidades de explicar y argumentar.

Se introduce el concepto de *explicación científica escolar* Una buena *explicación científica escolar* (Duschl, 1998; Jiménez Aleixandre, 1998; Sardà y Sanmartí, 2000) debería estar basada en la relación coherente entre acción, instrumento y

---

<sup>295</sup> No ponemos los calificativos de *escolares* o *eruditos* porque, dentro del modelo de transposición didáctica homórfica al que adherimos, unos modelos irreductibles son altamente identificables con los otros.

modelo teórico; este último podría estar analógicamente mediado por diversas estrategias (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001). Una explicación que está establecida en un lenguaje formal riguroso, pero que no conecta con lo que los estudiantes pueden hacer o con los fenómenos a los que ellos tienen acceso, no tiene un genuino valor educativo para ellos. Se trata de un formalismo vacío, y pretender que los estudiantes la aprecien por su sola científicidad contradice los valores de la propia ciencia escolar<sup>296</sup>.

La relación entre los modelos del sentido común y la realidad representada suele ser de primer orden, sin organización teórica de los sistemas ni transformaciones elaboradas de los datos (Duschl, 1997, 2000c; Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001; Adúriz-Bravo y Morales, en prensa). La experimentación, reconstruida por medio del lenguaje escrito, lleva a los estudiantes a un nuevo nivel epistémico, caracterizado por un tipo de relación entre realidad y representación muy abstracta y convencional, la relación *simbólica*, en la cual la conexión eficaz entre signos y referencias es sumamente relevante. Esta representación simbólica sólo conecta correctamente con sus referentes en el mundo si se siguen todos los pasos del proceso de *semiosis* científica (Nye, 1993).

Se recupera la importancia de la *abducción científica* (primera aplicación)

En el camino hacia la reconstrucción teórica, un elemento importante sin duda es la *argumentación* (Duschl, 1998; Jiménez Aleixandre, 1998; Newton et al., 1999; Osborne, 1999; Sardà y Sanmartí, 2000; Duschl y Ellenbogen, 2001). La argumentación científica tiene una estructura formal compleja difícil de capturar con un silogismo deductivo tradicional. Los argumentos científicos valiosos pueden ser analógicos, causales, hipotético-deductivos, probabilísticos, inductivos, entre otros muchos.

---

<sup>296</sup> El tema de la experimentación y la argumentación científicas escolares está explorado con profundidad en la memoria final del proyecto del DDMCE financiado por el CIDE.

Unos argumentos especialmente potentes son los *abductivos*, por el rol que juegan en el proceso de modelización. Su función es apoyar la plausibilidad de los modelos teóricos mostrando explícitamente que ellos proveen explicaciones para problemas relevantes.

La argumentación en la ciencia escolar ha de tener en cuenta la evidencia empírica para generar una relación de correspondencia con el mundo (Duschl, 1998; Jiménez Aleixandre, 1998); pero este no es un requerimiento fácil de conseguir. En la ciencia erudita, el grado de certeza es dependiente de la validez del marco teórico particular a través del cual se analizan los resultados de los experimentos; esto no impide que las argumentaciones sean pragmáticamente *adecuadas* a los objetivos con los cuales son diseñadas. Este puede ser también el caso en la ciencia escolar.

Se recupera el análisis de la explicación científica desde un punto de vista *ilocutivo* (capítulo 5, apéndice 2)

Un modelo de explicación particularmente adecuado para la ciencia escolar es el modelo *ilocutivo*, tal como lo presentamos en el capítulo 5. Este modelo presta atención tanto a la estructura de la explicación como al proceso de explicar y, lo que es más importante, a sus *resultados* (Achinstein, 1968, 1989; Estany, 1993; Izquierdo, 1999b). Una *explicación científica escolar* es aquella que da una respuesta pragmática a un problema científico escolar *quedándose* en un contexto científico escolar. Esto es a menudo descuidado en la enseñanza de las ciencias tradicional.

El argumento explicativo (abductivo) debería ser formalmente correcto, usar un modelo teórico, alcanzar plausibilidad para los estudiantes, y permitir la actuación empírica (intervención en el mundo).

En el contexto científico de educación, el profesorado de ciencias tiene la atribución de organizar la enseñanza de las ciencias, con todos los elementos anteriores, sin tratar de imitar los objetivos y métodos de los científicos. Las preguntas y respuestas consideradas en la ciencia escolar serán muy diferentes de las de la ciencia erudita, pero relacionadas a estas por el proceso de transposición didáctica.

Se enumeran  
nueve  
*elementos*  
importantes  
del modelo  
de ciencia  
escolar

Nuestro modelo completo para la ciencia escolar tendría entonces los siguientes elementos<sup>297</sup>:

1. El *conocimiento de partida*, que son los modelos del sentido común que detentan los estudiantes sobre el mundo natural. Estos modelos han sido construidos a través de la experiencia sensorial, la interacción cultural y la adaptación  *sintética* de los saberes científicos aprendidos en la escuela (Osborne y Wittrock, 1995).
2. El *problema científico escolar* al que se quiere contestar (Adúriz-Bravo, 1993), que fija los objetivos epistémicos de la actividad, tornándola racional.
3. El *modelo teórico escolar*, que es la representación teórica del fenómeno que se intenta instalar en la clase. Este modelo ha sido generado por transposición a partir de algún modelo teórico erudito, considerado educativamente relevante y por tanto seleccionado en el currículo.
4. La *relación analógica* con los hechos del mundo teorizables con este modelo, sobre los cuales se puede realizar la intervención material o mental. Este proceso genera los llamados *hechos paradigmáticos* (Izquierdo y Márquez, 1993).
5. El *lenguaje científico escolar*, con sus sistemas de símbolos creados para dar cuenta de las relaciones de semejanza entre el modelo y el problema (Sutton, 1994).
6. Los *mediadores didácticos*, que son elementos de naturaleza analógica o metafórica que facilitan el paso desde el modelo del sentido común hacia el modelo teórico escolar.
7. La *intervención científica escolar*, no sólo experimental, que genera las *acciones*, teóricamente interpretadas, que dan sentido al modelo.
8. Las *argumentaciones científicas escolares* (Duschl, 1998; Jiménez Aleixandre, 1998; Sardà y Sanmartí, 2000), capaces de asociar hechos paradigmáticos, acciones, instrumentos, representaciones, analogías, razonamiento, discurso y modelos teóricos escolares a través de un proceso de abducción.
9. La *reflexión metacognitiva* sobre las relaciones entre todos los elementos anteriores, que permite a los estudiantes autorregular el proceso de dar sentido al mundo

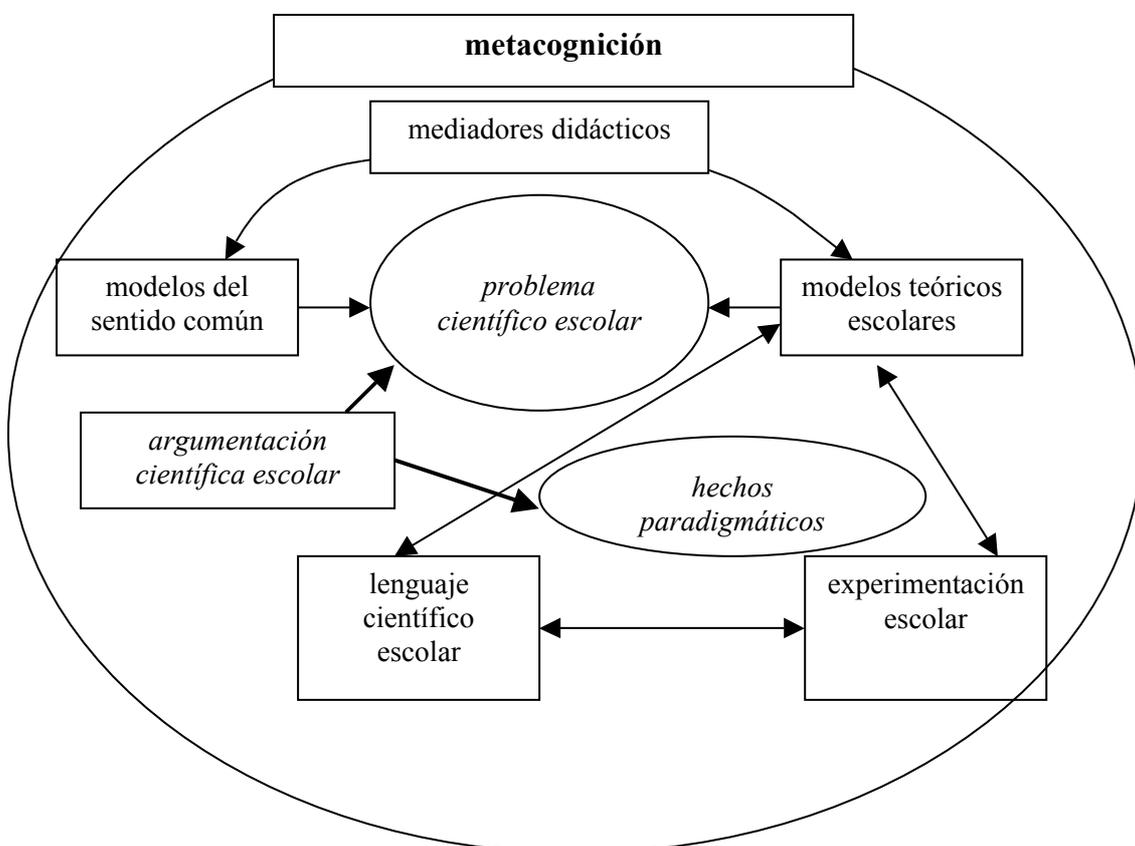
---

<sup>297</sup> Adaptamos y completamos las presentaciones de Izquierdo (1995a, 1995b, 1999b, 2001, en preparación).

(Galagovsky, 1993a, 1993b; Sanmartí, 1995; Hugo, 1999; Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001).

Entonces, en la ciencia escolar, los problemas más relevantes son aquellos que favorecen el *anclaje* de modelos teóricos similares a los de la ciencia erudita, pero adaptados a las posibilidades de experimentación escolar entendida en sentido amplio. Los hechos del mundo son reconstruibles desde el modelo científico escolar, que evoluciona hacia el modelo científico erudito.

La estructuración de la ciencia escolar necesita entonces de un principio de economía o *parsimonia*, que reduzca los modelos teóricos a un número razonable y los simplifique al máximo (Izquierdo, 1999b, en preparación; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001b; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Duschl, 2001). Pero esta reducción exige que los modelos que sobrevivan sean los más inclusivos y robustos. Sin esta restricción, el proceso de explicación científica escolar se dispersa. Por ello, garantizar la *irreductibilidad* de los modelos teóricos escolares puede ser una forma de fundamentar epistemológicamente el currículo de ciencias.



**Figura 12.2** El modelo de ciencia escolar con sus diferentes elementos.

Se remite a la idea de *función modelo teórico*, introducida en la última sección de este capítulo

Giere (1992b, 1999b) considera que la caracterización de las teorías puede hacerse desde diversos registros semióticos y utilizando diferentes herramientas simbólicas. Entidades simbólicas de variadas clases –proposiciones, ecuaciones, modelos materiales, mapas, analogías, simulaciones, maquetas, narraciones– pueden ser usadas como definiciones para los modelos teóricos eruditos, siempre y cuando los modelos así definidos sean *similares* a la realidad y puedan conectar con ella por medio de las hipótesis teóricas. Esta enorme versatilidad de los científicos en la caracterización de los modelos teóricos es la que inspira y sustenta nuestra idea de *función modelo teórico* para la ciencia escolar.

De acuerdo con los modelos actuales de la ciencia cognitiva (Chi, 1989; Carey, 1992; Nersessian, 1992; Gutiérrez, 1999; Gardner, 2000), los modelos teóricos de la ciencia erudita pueden ser vistos como una abstracción particular de ciertas representaciones mentales refinadas, desarrolladas evolutivamente. El lenguaje proposicional que *define* una teoría no es entonces una *descripción* de una porción del mundo (el *sistema*), sino la caracterización de un constructo mental, el modelo teórico, que es un análogo estructural y funcional de aquella porción del mundo.

Las contribuciones de la ciencia cognitiva de alguna manera sustentan la propuesta de ciencia escolar que se expone aquí: el modelo teórico escolar resulta de reconstruir teóricamente los hechos paradigmáticos a través de relacionarlos cognitivamente con otros hechos que tienen sentido para los estudiantes. El modelo teórico inicialmente generado en este proceso se puede ir desarrollando mediante diversas estrategias didácticas, de modo de enriquecerlo y acercarlo hacia el modelo teórico erudito correspondiente. Esto se logra cuando el modelo es capaz de hacer *coalescer* a su alrededor más y más fenómenos, potenciándose así su poder explicativo agrupador.

## 12.5 Algunas aportaciones al modelo de ciencia escolar

El modelo de ciencia escolar que hemos esbozado a lo largo de este capítulo ha sido llamado *modelo cognitivo de ciencia escolar* debido a su fuente principal de fundamentación epistemológica (Izquierdo, 2000a). Sin embargo, en la propuesta original de Izquierdo y las sucesivas modificaciones que hemos tomado como base para nuestra caracterización, aparecen tímidamente algunos otros modelos epistemológicos. Entre ellos se cuentan el modelo *axiológico* de Echeverría (1995, 2000, 2001) y algunos elementos teóricos para caracterizar la *experimentación* y el *lenguaje* científicos (Pickering, 1989; Gross, 1990; Gooding, 1992; Halliday y Martin, 1993).

Nuestra aportación al modelo cognitivo de ciencia escolar, que puede ser considerada como la contribución propiamente dicha de esta tercera aplicación de la tesis, está encaminada en tres líneas:

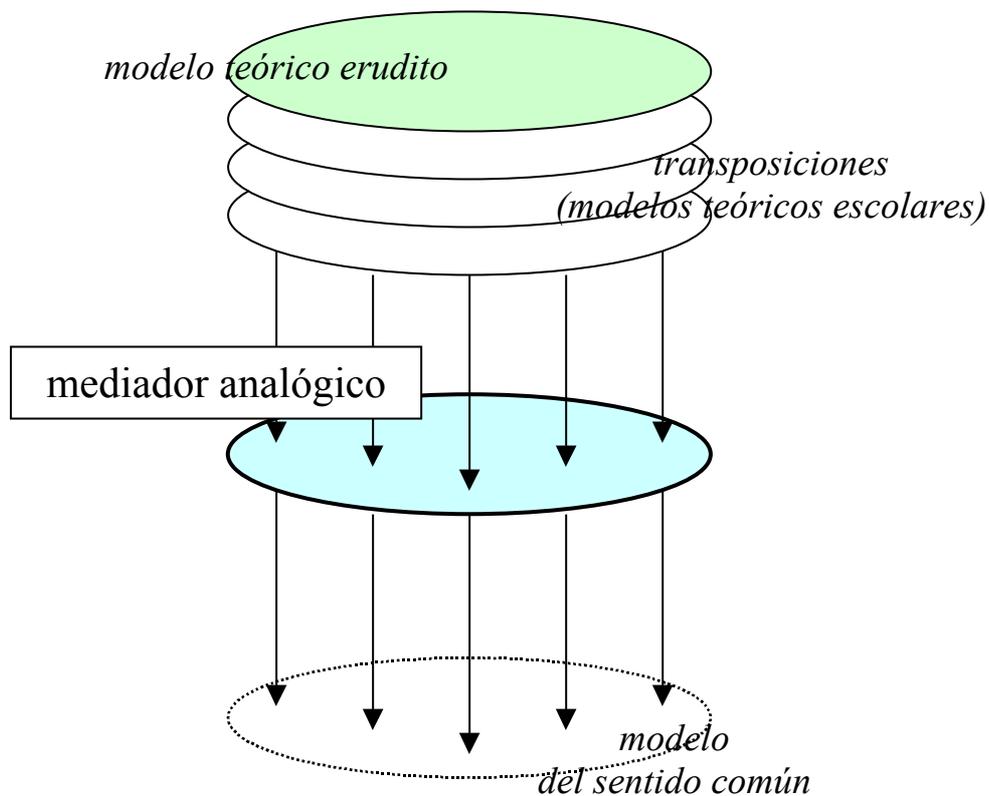
1. desarrollar con más detalle algunos de los elementos que estaban sólo sugeridos en las formulaciones de Mercè Izquierdo,
2. añadir al modelo de ciencia escolar más elementos extraídos de modelos epistemológicos distintos del modelo cognitivo, y
3. postular la hipótesis de la existencia de la función modelo teórico.

El constructo que deseamos agregar al modelo cognitivo de ciencia escolar está reservado a la última sección del capítulo; se trata de nuestra idea de la función modelo teórico, que sugiere que la evolución entre los modelos del sentido común, los modelos teóricos escolares y los modelos teóricos eruditos puede estar auxiliada por *mediadores* conceptuales (no lingüísticos), en un proceso de *ascenso* analógico (figura 12.3).

### 12.5.1 Desarrollo y aporte de elementos

|   |  |
|---|--|
| Aportaciones al modelo de ciencia escolar: <i>problema, analogía, abducción, realismo/ racionalismo</i> | Para este apartado, podemos considerar como nuestras propias aportaciones y desarrollos algunos elementos que ya fueron esbozados en la primera y la segunda aplicación de la tesis, y que aparecen mencionados en nuestra anterior caracterización de la ciencia escolar. |
|---|--|





**Figura 12.3** Ascenso analógico mediado.

El primer elemento es la noción de *problema científico escolar* (Adúriz-Bravo, 1993), llamado *conflicto cognitivo* en un marco neopiagetiano (Galagovsky, 1993b; Pessoa de Carvalho, 1994):

En esa manera de explicar cómo el conocimiento progresa, el estado conflictual constituye el motor, desempeñando el papel de resorte impulsor. (Pessoa de Carvalho, 1994: 10)

Esta noción, en Izquierdo (1999b), aparece descrita como “algo que tira” de los científicos o los estudiantes en su actividad cognitiva. Nuestra idea pretende rescatar la especificidad de los propios *contenidos científicos* como generadores de problemas epistémicos capaces de poner en marcha el mecanismo de la ciencia escolar.

Recuperamos para la clase de ciencias una visión de que la *motivación* puede estar generada epistémicamente, y no tiene por qué ser externa.

Un segundo elemento aportado sería la identificación de un bagaje de estrategias didácticas clásicas, transmitidas en la tradición del profesorado de ciencias, para conseguir la correlación entre la realidad y los modelos teóricos escolares, en el proceso de explicación. Algunas de estas estrategias son descritas por Jon Ogborn y sus colaboradores en su trabajo pionero sobre cómo *explican* los profesores de ciencias (Ogborn et al., 1996). El *modelo didáctico analógico* de Lydia Galagovsky se inscribe en esta categoría<sup>298</sup>.

Un tercer elemento es nuestra aproximación *abductiva* a la explicación científica escolar. Consideramos que la abducción es un mecanismo potente para entender e implementar la argumentación científica escolar. Esta consideración pone en el lugar central de la ciencia escolar el proceso de modelización teórica de los fenómenos.

|  |  |
|--|--|
| Recuperamos el <i>realismo</i> y el <i>racionalismo</i> para la ciencia escolar (capítulo 5) | Un cuarto y último elemento sería la recuperación del realismo pragmático como modelo de correspondencia y el racionalismo moderado como modelo de racionalidad para la ciencia escolar. Consideramos que estos dos modelos son, hasta el momento, los únicos que proporcionan una fundamentación epistemológica sólida para la ciencia escolar. |
|--|--|

## 12.6 Cinco elementos del modelo de ciencia escolar

|                      |   |
|----------------------|---|
| Se resume la sección | En esta sección desarrollamos con más extensión cinco elementos del modelo de ciencia escolar que pueden resultar potentes para mejorar la educación científica, y sobre los cuales la didáctica de las ciencias tiene un amplio conocimiento disponible <sup>299</sup> . Hemos seleccionado estos elementos, que |
|----------------------|---|

---

<sup>298</sup> Ver: Galagovsky (1993a, 1993b, 1997).

<sup>299</sup> Ver, por ejemplo: Gabel (1994); Sanmartí (1995); Fraser y Tobin (1998); Espinet (1999); Izquierdo (1999a); Perales y Cañal (2000).

aparecen esbozados con diferente profundidad en las producciones anteriores del Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals de la Universitat Autònoma de Barcelona, porque nos parecen adecuados a la hora de avanzar en el cumplimiento de los tres propósitos que enunciamos en la introducción a esta tercera aplicación: abrir líneas de investigación, innovar la práctica didáctica de las ciencias, y, muy especialmente, formar epistemológicamente al futuro profesorado de ciencias.

El primer apartado se enfoca sobre la estructura del currículo de ciencias en su nivel de concreción más general, que es el que prescribe la organización de los contenidos por niveles, ciclos, áreas, asignaturas y créditos. Revisamos algunos debates y propuestas actuales al respecto, y examinamos la idea de organizar el currículo de ciencias en el plano *macro* alrededor de los *modelos irreductibles*.

Por oposición, el segundo apartado revisa modelos de desarrollo del currículo de ciencias en el nivel de concreción más bajo, relacionado con la generación de las *unidades didácticas* propiamente dichas. En este apartado recuperamos algunos modelos didácticos de las ciencias, de raigambre constructivista, que tienen en cuenta tres elementos: la modelización, la metacognición y la argumentación en el aula de ciencias.

El tercer apartado revisa el rol del lenguaje en la construcción de la ciencia escolar. La revisión se hace esencialmente desde una perspectiva eminentemente *retórica*<sup>300</sup>.

Un aspecto derivado de este interés por el lenguaje científico ocupa el centro del cuarto apartado. Se trata del papel fundamental que tiene la *analogía*, como mecanismo cognitivo y retórico, en la construcción de la ciencia escolar.

---

<sup>300</sup> Expuesta, por ejemplo, en: Izquierdo (1999b); Newton et al. (1999); Osborne (1999); Márquez et al. (2001); Martins (2001); Rodríguez Aguirre (2001); León (2001).

El quinto apartado esboza la contribución que pueden hacer las diversas metaciencias a la construcción de la ciencia escolar. Se trata de un apartado breve, ya que muchos de los elementos relevantes para este tema aparecen expuestos en la primera parte de la tesis, a la que los lectores pueden remitirse.

#### 12.6.1 *Estructura macrocurricular de la ciencia escolar*<sup>301</sup>

|   |  |
|---|--|
| Se recupera la idea del desarrollo curricular en ciencias como una <i>tecnología</i> (segunda aplicación) | La determinación de la macroestructura del currículo de ciencias –a menudo llamada tarea de <i>diseño</i> del currículo– es una actividad tecnológica compleja en la que participan especialistas de diversas disciplinas, y en la que además se ponen en acción los imperativos sociales sobre la educación científica de las jóvenes generaciones. |
|---|--|

Uno de los debates más importantes en torno al diseño curricular en los '90, ha sido aquel en torno a la *disciplinariedad* del currículo de ciencias<sup>302</sup>. En este ámbito, la dislocación de la estructura disciplinar, con finalidad didáctica, en los primeros ciclos de la educación científica, es una estrategia de transposición muy antigua. Ya Juan Alberto Fesquet (1936) la menciona en sus escritos pioneros en la Argentina:

En la enseñanza primaria (...) se ha reaccionado contra esta separación disciplinar para agrupar los conocimientos en asociaciones más cómodas y más racionales desde el punto de vista pedagógico. (p. 675)

---

<sup>301</sup> Para esta sección incorporamos algunas cuestiones tomadas de uno de nuestros artículos (Adúriz-Bravo y Meinardi, 2000) y de la memoria de acceso a la plaza de catedrática en didáctica de las ciencias experimentales elaborada por Mercè Izquierdo (1999b).

<sup>302</sup> Ver: *Infancia y Aprendizaje* (1994); *Investigación en la Escuela* (1997); Adúriz-Bravo y Meinardi (2000).

El debate acerca de la disciplinariedad remite a las *ideas estructurantes* (capítulo 5) y a nuestro análisis epistemológico estructuralista (segunda aplicación)

Como resultado de este debate acerca del grado más adecuado de disciplinariedad, ha habido mucho trabajo de investigación e innovación alrededor de las llamadas *ideas estructurantes* para organizar el currículo (Gagliardi, 1986). Estas ideas podrían ser descritas, desde el modelo epistemológico al que adherimos, como conceptores (por ejemplo, *fuerza* o *elemento*), ligaduras (por ejemplo, los *principios de conservación*), o metaconceptos (por ejemplo, *interacción* o *simetría*).

Ahora bien, el camino de las ideas estructurantes nos puede llevar a una proliferación de conceptos en el currículo de ciencias, y a una disciplinariedad demasiado desdibujada. Para Izquierdo (1999b), es conveniente seguir un *principio de economía* en la selección y secuenciación de los contenidos de ciencias. Se trata de escoger una cantidad razonable de modelos teóricos escolares potentes, de modo de que todas las ideas de la educación científica puedan estar ancladas en ellos. Pero además, se trata de recuperar el valor intrínseco de las disciplinas para la educación general.

Con estas premisas, cobra fuerza la idea de usar los modelos teóricos irreductibles, como expresión última de la estructura profunda de las disciplinas, en la tarea del desarrollo curricular en ciencias. Hablamos entonces de un modelo *homórfico* de transposición didáctica, que preserva los modelos irreductibles para la estructuración de la ciencia escolar.

Los modelos irreductibles permitirían recuperar, para el diseño de la actividad científica escolar, todo el sistema de ideas enlazadas que presentamos en nuestra caracterización de la ciencia escolar (figura 12.2).

### 12.6.2 Estructura microcurricular de la ciencia escolar

Este apartado recupera algunos modelos didácticos recientes en el campo del desarrollo microcurricular en ciencias, que son compatibles y coherentes con el modelo de ciencia escolar que hemos esbozado. Entendemos por modelo de desarrollo microcurricular aquel que permite el diseño de secuencias didácticas específicas para el aula, las que tradicionalmente se han llamado *unidades didácticas* (Sanmartí, 2000b).

Recuperamos los modelos didácticos *generativos* (primera aplicación) Creemos que los modelos microcurriculares más adecuados para instrumentar nuestra visión de ciencia escolar son aquellos de raigambre constructivista, particularmente los que prestan atención a la incorporación del proceso de *modelización* en el aula, por medio del uso de estrategias discursivas de cariz metacognitivo.

Entre estos modelos, rescatamos cuatro: el *modelo generativo* (Osborne y Wittrock, 1985), el *modelo alostérico* (Giordan, 1982, 2000), el modelo *cognitivo-interactivo* (Galagovsky, 1993, 1997), y el modelo que Neus Sanmartí presenta en el ámbito de la creación de unidades didácticas (2000b). El modelo generativo expandido que presentamos en la primera aplicación puede ser considerado también un modelo pertinente para esta sección, de modo que no repetiremos aquí las consideraciones hechas anteriormente al respecto.

Una vez discutidos estos modelos, presentamos una adaptación de ellos al trabajo de laboratorio en física (Adúriz-Bravo et al., 2000), y una extensión del modelo a la estructuración macrocurricular (Adúriz-Bravo, Izquierdo y Duschl, 2001), que nos es útil en la organización retórica del siguiente capítulo.

#### 12.6.2.1 El modelo alostérico/generativo/interactivo

Los modelos constructivistas *elicitan*, *contrastan* y *sintetizan* Los cuatro modelos que tomamos tienen como *principio cero* el partir de lo que el estudiante ya sabe sobre los fenómenos naturales:  
El conocimiento a ser enseñado debe partir del conocimiento que el alumno ya trae (...), todo conocimiento es construido a partir de lo que ya se conoce. (Pessoa de Carvalho, 1994: 9)

Esto implica que las secuencias didácticas han de tener un primer paso dedicado a la *elicitación* de los modelos del sentido común de los estudiantes. La elicitación se realiza

a través del establecimiento del problema científico escolar que se quiere resolver, y de la recolección de los hechos del mundo que correlacionan con ese problema.

El segundo momento de estos modelos didácticos está establecido alrededor de la confrontación entre las ideas de los estudiantes y el modelo teórico escolar. Esta confrontación se produce en los niveles *intra* e *inter*, con

la acción del sujeto sobre el objeto de conocimiento y la interacción entre los sujetos.  
(Pessoa de Carvalho, 1994: 9)

|   |   |
|---|---|
| La<br><i>analogía</i><br>y la<br><i>argumentación</i><br>pueden<br>introducirse<br>en el modelo<br>generativo | Este segundo momento incluye la utilización de estrategias analógicas y la construcción de argumentaciones, a fin de introducir la modelización teórica en el aula de ciencias (Ogborn et al., 1996). |
|---|---|

El tercer momento lleva a los estudiantes a la exploración, aplicación y evaluación del modelo teórico escolar. Para este momento, es fundamental que los estudiantes alcancen la autorregulación de su propio aprendizaje. Para ello, los profesores han de potenciar las estrategias cognitivo-lingüísticas que tengan carácter metacognitivo.

#### 12.6.2.2 Un modelo generativo para guiar el trabajo experimental<sup>303</sup>

|  |   |
|--|---|
| El modelo<br>generativo<br>se utilizó para<br>desarrollar<br>material<br>didáctico<br>para el<br>laboratorio<br>de física<br>escolar | En el contexto de un programa de formación inicial del profesorado de física para el nivel secundario en el que hemos participado, produjimos un material intitulado <i>El péndulo de Foucault. Propuesta de trabajo teórico-práctico</i> (Adúriz-Bravo y Bonan, 1995). Este material presenta una unidad didáctica para el aula de ciencias que está basada en la simulación del experimento histórico de Jean Bernard Léon Foucault, realizado en 1851, para proveer una “evidencia empírica” acerca del movimiento de rotación de la Tierra. |
|--|---|

---

<sup>303</sup> Esta sección recupera elementos de uno de nuestros trabajos (Adúriz-Bravo, Bonan et al., 2000).

En una serie de trabajos que reflexionaban sobre este material<sup>304</sup>, presentamos una propuesta de desarrollo curricular para la física experimental, basada en resultados de la investigación reciente en didáctica de las ciencias que reconceptualizan el trabajo de laboratorio. Recuperamos aquí algunas características de esta propuesta, relacionándolas con el marco teórico generativo que las sustenta.

#### 12.6.2.2.1 La actividad científica escolar en física

|  |   |
|--|---|
| Revisamos la literatura didáctica de las ciencias que se ocupa de la <i>experimentación científica escolar</i> | La revisión bibliográfica acerca del trabajo de laboratorio en la física escolar <sup>305</sup> permite constatar que, a pesar de que existe un tratamiento bastante extenso del tema, quedan aún diversos problemas teóricos y prácticos a explorar. En este subparágrafo hacemos una rápida revisión de las discusiones que se dan sobre esta temática. |
|--|---|

Rescatamos los siguientes puntos:

- |  |   |
|--|---|
| Se distingue entre trabajo <i>práctico, experimental</i> y <i>de laboratorio</i> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cuando se habla del <i>trabajo de laboratorio</i> –por lo menos en la física escolar– se suelen confundir tres ejes conceptuales, desaprovechando la riqueza que derivaría de considerarlos ejes independientes. Los abordajes tradicionales para la enseñanza de la física suponen que <i>trabajo práctico, trabajo experimental</i> y <i>trabajo de laboratorio</i> son sinónimos. Sin embargo, en ellos, el término <i>teoría</i> asume diversos significados (Adúriz-Bravo, Bonan et al., 2000).</li> <br/> <li>2. <i>El aprendizaje ha de ser conceptual, procedimental y actitudinal.</i> Según algunos modelos didácticos vigentes, el aprendizaje de las ciencias en general, y de la física</li> </ol> |
|--|---|

---

<sup>304</sup> Dibar Ure et al. (1995); Adúriz-Bravo, Bonan et al. (2000).

<sup>305</sup> Tricárico (1985); Gil-Pérez y Payá (1988); González (1992); Hodson (1994a, 1994b, 1998); Solomon (1994b); Izquierdo, Sanmartí y Espinet (1999); del Carmen (2000).

en particular, en la escuela secundaria obligatoria debería tener un marcado carácter *instrumental*, es decir, reconocer una importancia similar al aprendizaje de la estructura conceptual de la física y al aprendizaje de los llamados procedimientos y actitudes científicas en general (Meinardi y Adúriz-Bravo, 2000). Esta concepción es uno de los pilares tradicionales de la experimentación científica escolar.

3. El orden adecuado entre la teoría y la experimentación. *Una visión diferente sostiene que el trabajo de laboratorio es una forma de validar el trabajo de aula. Esta validación empírica puede producirse antes o después del desarrollo teórico de cada tema de física. Ambas posibilidades tienen sus adeptos y sus detractores (González, 1992). Interesa destacar que el hecho de presentar los modelos teóricos escolares antes o después de la experimentación no compromete la calidad de los aprendizajes finales*<sup>306</sup>.
4. *El equipamiento del laboratorio.* Una sala de laboratorio completa y moderna suele presentarse como condición sine qua non para iniciar el trabajo experimental. Como tal situación ideal se presenta pocas veces en la realidad educativa actual, este hecho es utilizado como “coartada” por muchos profesores de ciencias para justificar la baja presencia de la experimentación científica escolar en sus propuestas didácticas. Conviene recordar que el trabajo experimental puede realizarse en lugares poco preparados y con materiales de bajo costo. El laboratorio como lugar físico completamente equipado es la más alta aspiración en el trabajo en ciencias, pero en sí mismo no garantiza un buen aprendizaje: este se apoyará, entre otras cosas, en la riqueza de la propuesta que el profesorado de ciencias formule con los elementos del laboratorio.

#### 12.6.2.2.2 *Un modelo generativo de trabajo teórico-práctico*

Nuestra propuesta para la actividad científica escolar, de inspiración generativa, combina dos elementos:

---

<sup>306</sup> *Resulta un ejercicio interesante para el profesorado de ciencias preguntarse acerca del orden entre teoría y experimentación en cada caso particular, pues supone identificar las ventajas de una y otra propuesta, y secuenciarlas con aportes de las metaciencias y la didáctica de las ciencias.*

1. La reflexión sobre el *orden de aparición entre teoría y práctica experimental* en la educación científica, reconocida como un punto central de discusión en la mayoría de los estudios acerca del trabajo de laboratorio.
2. La operación de *desconstrucción de la práctica experimental*, que implica separar todas las variables relevantes y rastrear todas las líneas temáticas pertinentes para que una propuesta de laboratorio se desarrolle con efectividad. Esta operación puede ser asimilada, dentro del marco de la *teoría de la actividad* (Engeström et al., 1999; Sanmartí, 2000a, 2000b), a la representación de la acción necesaria para incorporar la práctica evaluativa dentro del proceso.

En la propuesta que elaboramos, nos centramos en una realidad compleja: las *evidencias* acerca de los movimientos terrestres. Hicimos esto desde un experimento histórico, el péndulo de Foucault, a través de la simulación y de la transferencia a otras situaciones. Para ello, adoptamos un modelo didáctico con cinco etapas, similares a las del modelo generativo:

1. *Cuestionario previo*. Se elicitan las ideas de los estudiantes.
2. *Discusión en grupos*. Se fomentan la interacción entre pares, la confrontación de hipótesis, el trabajo con material concreto, la selección de variables, la interpretación de pequeñas simulaciones.
3. *Análisis del material teórico*. Se presenta una propuesta organizadora, que introduce a los estudiantes en el lenguaje disciplinar por medio del uso de modelos teóricos escolares.
4. *Práctica de laboratorio*. Se lleva a cabo la reconstrucción escrita del hecho científico.
5. *Reflexión sobre la práctica*. Se promueve la integración de los elementos teóricos y prácticos, mediante el uso explícito de las estrategias metacognitivas.

#### 12.6.2.3 Un modelo generativo para la organización macrocurricular

El modelo generativo es capaz de articular en su interior los diversos elementos de la ciencia escolar que enumeramos en la cuarta sección. En este sentido, podemos establecer las siguientes relaciones:

1. la *fase de elicitación* correspondería a rastrear el conocimiento de partida y a construir el problema relevante, o conflicto cognitivo,
2. la *fase de presentación* del modelo teórico involucraría el establecimiento de las relaciones analógicas mediadas entre los hechos del mundo y los contenidos curriculares,
3. la *fase de exploración y aplicación* recogería la reconstrucción escrita de los hechos paradigmáticos y el uso del lenguaje científico escolar, y
4. la *fase de síntesis* requeriría construir argumentaciones científicas escolares desde una plataforma metacognitiva.

Esta sucesión de fases *dentro de cada unidad didáctica* nos ha inspirado una estructuración paralela a nivel macrocurricular (Adúriz-Bravo, 2001d). Usamos las cuatro fases para diseñar cuatro grandes momentos en un curso o un crédito completo:

1. el momento de construcción de los *hechos paradigmáticos*,
2. el momento de construcción de las *analogías*,
3. el momento de construcción de los *modelos teóricos escolares*, y
4. el momento de construcción del *modelo de síntesis* (que, en algunos casos, puede ser un modelo irreductible).

El conjunto de estos momentos constituye un ciclo generativo. Y además, *cada uno* de los momentos es, a su vez, un ciclo generativo completo.

### 12.6.3 *El lenguaje en la ciencia escolar*

Consideramos el lenguaje científico escolar desde una perspectiva retórica

En este apartado planteamos la cuestión del rol que puede jugar el lenguaje en la construcción de la ciencia escolar. Nos situamos en la *semiótica social* de Jay Lemke y los estudios retóricos de la educación científica (Duschl, 1998; Jiménez Aleixandre, 1998; Osborne, 1999; Erduran et al., 2000; Martins,

2000a, 2001; León, 2001; Márquez et al., 2001; Rodríguez Aguirre, 2001).

En líneas generales, estamos de acuerdo con Paul Newton, Rosalind Driver y Jonathan Osborne (1999), que destacan el papel fundamental de la argumentación en la ciencia erudita y en la ciencia escolar:

We believe that argumentative practices are central both to education and science. Moreover, we believe that pedagogies which foster argument lie at the heart of an effective education in science. (p. 553)

La imagen de la educación científica como un proceso que va enriqueciendo y complejizando el bagaje lingüístico, nos permite centrar nuestra atención en el estudio del desempeño lingüístico de los estudiantes y los profesores de ciencias. El análisis de tal desempeño, a su vez, nos posibilita cierto acceso a las representaciones mentales que unos y otros ponen en juego frente a la realidad natural.

|  |   |
|--|---|
| <i>Recuperamos la importancia de la explicación científica para la ciencia escolar</i> | Nos interesan las llamadas estrategias cognitivo-lingüísticas (Izquierdo y Sanmartí, 1998, 1999), en tanto que expresiones, en el plano comunicativo, de los procesos psicológicos superiores. Recuperamos la importancia que se da actualmente en la didáctica de las ciencias a los procedimientos retóricos de explicación y argumentación en el aula de ciencias. |
|--|---|

*Consideramos que la explicación científica escolar constituye la actividad más rica de que dispone el profesorado de ciencias para poner en acción el lenguaje científico en el aula.*

#### 12.6.4 *La analogía en la ciencia escolar*<sup>307</sup>

La centralidad de la *analogía* se deriva del modelo cognitivo de ciencia

El modelo cognitivo de ciencia escolar considera la *analogía* como un de los instrumentos privilegiados para la construcción de los modelos teóricos escolares. Esto supone dotar al lenguaje científico escolar de suficiente profundidad y versatilidad como para poder comunicar con él significados relevantes sobre el mundo natural.

La educación científica tradicional usualmente ha resultado en una ciencia escolar como colección *escrita* de teorías vacías de contenido y conectadas a fenómenos igualmente vacíos e ininteligibles, expuestos en los libros de texto<sup>308</sup>. Todo ello se ha realizado a través de un lenguaje excesivamente tecnificado y preciso, que enmascaraba la incapacidad de los estudiantes para aplicar el conocimiento científico a la realidad natural (Bonan, 1999b).

Según las escuelas epistemológicas que nosotros hemos llamado *visiones contemporáneas*, el concepto de *modelo* es uno de los pilares metateóricos sobre los que se edifican las ciencias. También en la didáctica de las ciencias el concepto de *modelo* es de interés, tanto desde el punto de vista *representacional* como *lingüístico* (Greca y Moreira, 1998; Treagust y Duit, 2000). Queremos dedicarnos a señalar el problema de trabajar con los modelos teóricos escolares en la aula de ciencias, examinando el rol de la *analogía* en esta modelización.

##### 12.6.4.1 Los modelos mentales

La comunicación entre profesores y estudiantes de ciencias naturales encuentra una serie de dificultades; una de ellas está asociada a la brecha que se produce entre el *lenguaje del sentido común* y el *lenguaje científico erudito*, que difieren en muchos de sus aspectos sintácticos y semánticos (Borseese, 2000; Adúriz-Bravo, Moliné y Sanmartí,

---

<sup>307</sup> Para este apartado, retomamos elementos de uno de nuestros artículos (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001).

<sup>308</sup> Esto es lo que Mercè Izquierdo (1996a) llama la *metáfora de la ciencia como libro*.

2001). Dichas brechas, como hemos mostrado en trabajos anteriores (Galagovsky, Bonan y Adúriz-Bravo, 1996, 1998), conducen a desencuentros y sinsentidos en la clase de ciencias.

Partimos de la hipótesis de que el lenguaje científico escolar funcionaría como mediador entre estos dos lenguajes. En este sentido, en los últimos años se está difundiendo un nuevo tipo de educación científica centrada en *aprender a hablar y a escribir ciencia*, es decir, centrada en la apropiación del lenguaje científico en un proceso gradual y contextualizado (Lemke, 1997; Izquierdo y Sanmartí, 1998, 1999; Adúriz-Bravo, Gómez-Moliné y Sanmartí, 2001).

La problemática del contexto en el lenguaje es un importante tema de investigación para la didáctica de las ciencias, ya que ella hace evidente la fractura entre la ciencia erudita y la ciencia escolar. El lenguaje, por ser instrumento de expresión y de creación en ambas ciencias, exhibe semejanzas y diferencias al ser usado en una u otra, y se producen deformaciones en la transición de una ciencia hacia la otra (Galagovsky et al., 1999).

Una dificultad que obstaculiza el aprendizaje significativo son las diferencias entre las *representaciones* idiosincrásicas que construyen los estudiantes acerca del mundo natural y las correspondientes representaciones científicas. Podríamos afirmar, entonces, que la diferencia entre los modelos mentales involucrados en uno y otro extremo de la comunicación entre expertos y novatos involucra tanto aspectos *lingüísticos* –semánticos y sintácticos–, como *representacionales*.

|   |  |
|---|--|
| Partimos de la base de la transposición didáctica | Aceptado el modelo de transposición didáctica, generamos a partir de él la hipótesis de que la ciencia escolar y la ciencia erudita pueden acercarse si se consideran como dos componentes articuladas de una vasta empresa social, que incide en diferentes aspectos de la vida contemporánea (Echeverría, 1995). |
|---|--|

Suponemos la *autonomía epistemológica* de la ciencia escolar, de la que ya hemos hablado más arriba. La ciencia escolar no se limita a ser una mera simplificación de la

ciencia erudita, adaptada al nivel de maduración de los alumnos, sino que posee todo un arsenal de herramientas lingüísticas, conceptos y modelos *propios*, que funcionan como facilitadores del acceso de los estudiantes a las formas más altas de representación científica<sup>309</sup>.

A partir de las investigaciones en la psicología del aprendizaje y la ciencia cognitiva, sabemos que apropiarse de cualquier aspecto de la realidad supone representarlo mentalmente por medio de una estrategia analógica, es decir, construir un *modelo mental* de esa realidad (Gopnik, 1996; Donovan et al., 1999; Gutiérrez, 1999; Izquierdo, 1999a; Pozo, 1999a, 1999b; Gardner, 2000; Linn, 2000). Este modelo mental está caracterizado tanto por sus aspectos representacionales como por los lingüísticos. Analogando el concepto de modelo mental al de modelo científico, podríamos decir que aprender ciencia implica manejar el *lenguaje* y las *representaciones* de la ciencia erudita.

Intervenir en el mundo natural con el lenguaje y las representaciones propias de la ciencia escolar sería un paso *necesario* en el camino hacia aprender la ciencia erudita. Pretender que desde un primer momento los estudiantes utilicen un lenguaje estrictamente científico, no necesariamente es una manifestación de que el conocimiento que tienen está sustentado en *representaciones científicas* cercanas a las propuestas por la ciencia erudita en ese campo.

*Se remite al modelo del profesor de ciencias como tecnólogo (segunda aplicación)* Otorgar autonomía a la ciencia escolar abre la posibilidad de que esta sea una entidad independiente, en evolución, que crea sus propias representaciones, herramientas y lenguaje, adecuándolos al objetivo de permitir la transición hacia la ciencia erudita. Esta forma de entender la educación científica implica cambios en nuestra concepción de la actividad profesional del profesorado de ciencias, cambios que hemos descrito en la segunda aplicación.

---

<sup>309</sup> Este arsenal sería grosso modo equivalente al *pedagogical content knowledge* de Shulman (1986), formado por analogías, ilustraciones, ejemplos, demostraciones.

Centrándonos específicamente en los *modelos teóricos* como unidad de análisis, podemos encontrar notables diferencias entre el lenguaje de la ciencia escolar en los niveles iniciales, que es muy cercano al del sentido común, y el lenguaje más complejo de la ciencia erudita contemporánea. A lo largo de la educación obligatoria y superior, es plausible suponer una serie de transiciones graduales entre uno y otro lenguaje, auxiliadas por diversas estrategias lingüísticas. Lo mismo vale para las representaciones internas, que gobiernan grandemente el uso del lenguaje en ciencias. Podemos afirmar que cuando se es capaz de *hablar* el lenguaje de la ciencia, las representaciones internas del mundo se corresponden con las que da la ciencia erudita (Lemke, 1997).

#### 12.6.4.2 Los modelos del sentido común y los de la ciencia erudita

|   |   |
|---|---|
| Se comparan los <i>modelos del sentido común</i> (de primer orden) y los <i>modelos teóricos</i> (de segundo orden) | Los modelos del sentido común se construyen idiosincrásicamente a partir de la experiencia cotidiana en el mundo natural y las interacciones sociales; son eminentemente figurativos, casi pictóricos. El sentido común supone una base de realismo ingenuo, por la cual el modelo funciona casi como un calco de la realidad tal y como esta es captada por los sentidos, y entonces no requiere de entidades instrumentales auxiliares. |
|---|---|

|  |  |
|--|--|
| Considerar los modelos como “copia” de la realidad es uno de los mitos acerca de la naturaleza de la ciencia que recoge McComas (capítulo 3) | Para cada porción de la realidad que es objeto de un problema, se formula en general un único modelo rígido. El modelo funciona como una representación de <i>primer orden</i> , analogada de la realidad, a la que a menudo sustituye. Este procedimiento de modelización lineal condiciona fuertemente la forma en que los estudiantes ven la ontología de los modelos científicos, mediante una idea del <i>modelo como copia</i> (McComas, 1998c). |
|--|--|

El modelo de primer orden se pone en acción con una serie de reglas lógicas que frecuentemente difieren de las del pensamiento hipotético-deductivo riguroso. Se trata a menudo de una serie de causaciones lineales e irreversibles (Gutiérrez, 1999).

Los modelos teóricos se construyen mediante la acción coordinada de una *comunidad* científica, que tiene a su disposición diversas herramientas para representar aspectos de la realidad. Inicialmente, la ciencia procede a un recorte de la realidad que se considera teóricamente relevante. Este recorte abstrae, simplifica, reestructura y análoga los diferentes elementos, dando lugar a un *sistema* en particular. Este sistema, a su vez, es sólo uno de los posibles sistemas que esa porción de realidad seleccionada admite (Duschl, 2000a).

Los modelos teóricos son así representaciones de *segundo orden*, hechas sobre los sistemas, que ya son en sí mismos abstracciones de la realidad. Así, los modelos resultan representaciones sumamente abstractas, escasamente figurativas, más cercanas a una posición abiertamente instrumental que al realismo ingenuo del sentido común (Giere, 1999b). En esta postura, los modelos son considerados herramientas de representación teórica del mundo, auxiliares para explicarlo, predecirlo y transformarlo (Hesse, 1966; Hacking, 1983; Duschl, 1997; Adúriz-Bravo, 1999b).

Por otra parte, los modelos teóricos tienen una alta movilidad representacional, y se estructuran en familias, con distintos niveles de complejidad y riqueza de acuerdo al tipo de problemas para los cuales se utilizan. Estos modelos coexisten en la ciencia, y el científico se sirve de ellos según las circunstancias particulares en las que se encuentra. Para la misma realidad a explicar tenemos, entonces, varias familias de modelos adecuadas a cada problema científico específico y al enfoque con que este es tratado (Giere, 1992b, 1999a, 1999b, 1999c).

Recuperamos  
el proceso de  
*mediación  
analógica*

La constitución de modelos teóricos supone la utilización de entidades instrumentales auxiliares, que aportan datos más allá de los captados por los sentidos con ayuda de los instrumentos tecnológicos. Asimismo, la comunicación de modelos entre científicos utiliza también elementos del lenguaje natural que enriquecen la descripción del modelo científico, como son la *analogía* y la *metáfora*.

*Remitimos  
al análisis  
del tópico  
de la  
analogía  
científica  
(primera  
aplicación)*

Las analogías y metáforas han jugado un papel muy importante en el desarrollo histórico del conocimiento científico (Hesse, 1966; Thagard, 1992a; Martins, 2000a). Un ejemplo muy conocido es la analogía del budín de ciruelas para la estructura del átomo, debida a J.J. Thomson, que nosotros hemos utilizado para la formación epistemológica del profesorado de ciencias.

Estas formas expresivas permiten representaciones significativas del *contenido* del modelo y transferencias de este a otros campos; además aportan elementos para su caracterización lingüística (*definición*). El lenguaje científico se enriquece con una serie de estrategias que a veces se han supuesto exclusivas del lenguaje literario, pero que juegan un importante papel en la construcción y consenso de significaciones en la ciencia (Gross, 1990).

Las entidades lingüísticas con las que trabaja la ciencia son *operadores* en los modelos, que pretenden ser la representación teórica de la realidad. Esos modelos articulan el conjunto de representaciones asociadas a la explicación científica. Así, los modelos científicos son las mediaciones entre el sistema formal teórico y su interpretación empírica.

#### 12.6.4.3 El modelo didáctico como una *representación* del modelo científico

Un modelo teórico erudito contiene la articulación de hipótesis de alto nivel de abstracción, atinentes a un cierto campo problemático de la realidad. El elevado grado de *formalización* de un tal modelo hace que a menudo esté fuera del alcance de los estudiantes de primaria y secundaria.

Aprender ciencias en la escuela requeriría entonces reconstruir los contenidos científicos por medio de *modelos didácticos* que los “lleven al aula”; sin embargo, lo que suele ocurrir es que se utilizan modelos científicos simplificados, que tienen significado para el nivel de erudición del profesor, pero que no encuentran referente en la estructura cognitiva de los estudiantes. En estas circunstancias, los estudiantes

incorporan memorísticamente un modelo que no es completamente científico y que, además, les resulta escasamente significativo.

Revisando los textos escolares (Maurines, 1992; Perales, 1995, 2000; Adúriz-Bravo y Galagovsky, 1997; Jiménez, 2000) se encuentran algunas cuestiones en la utilización de los modelos científicos que podrían potenciar las dificultades de los estudiantes. La utilización indiscriminada, secuencial y alternativa de diferentes modelos científicos, en sus representaciones más simplificadas, carentes de contexto histórico y, por lo tanto, sin indicación de sus alcances y limitaciones, aparece mezclada con herramientas simbólicas que han surgido de convenciones y acuerdos entre científicos; todo ello se enseña como normativo. Esto nos conduce a sugerir que algunos *modelos didácticos* resultan de combinar, sin jerarquía y desordenadamente, modelos, instrumentos, representaciones y recursos sintácticos y semánticos provenientes de la ciencia erudita.

Referimos a la idea de *función modelo teórico* (sección 12.7) Nos interesa considerar el modelo didáctico como una representación o *definición* del modelo teórico escolar. Nuestra caracterización de los modelos teóricos (sección 10.2) habla de que ellos tienen un *núcleo sintáctico* de naturaleza simbólica, no necesariamente lingüística. Los modelos didácticos podrían contribuir entonces a agrandar el núcleo sintáctico de los modelos teóricos escolares. Decimos por eso que los modelos didácticos están *en función modelo teórico*.

#### **12.6.4.4 Los modelos didácticos**

Si se examina la literatura en didáctica de las ciencias alrededor del concepto de modelo, se percibe la ambigüedad con que se utiliza el término de *modelo didáctico*. Nosotros propusimos considerar una clasificación de los recursos didácticos que pueden desplegarse en las clases de ciencias (Adúriz-Bravo y Galagovsky, 1997; Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001). Hablamos de:

1. representaciones científicas,
2. representaciones concretas,
3. análogos concretos, y

#### 4. modelos didácticos analógicos.

Otras clasificaciones, congruentes con la nuestra, se pueden encontrar en Castro (1992), Greca y Moreira (1998), Erduran (1999), y Treagust y Duit (2000).

##### **12.6.4.4.1 Los análogos concretos**

Los análogos concretos son dispositivos didácticos facilitadores del aprendizaje de conceptos abstractos (Glynn, 1990, 1995), los cuales utilizan conceptos y situaciones que tienen un claro referente en la estructura cognitiva de los alumnos; este referente se relaciona analógicamente con los conceptos científicos cuyo aprendizaje se quiere facilitar (Galagovsky, 1993a). Ejemplos de análogos concretos serían:

1. utilizar un resorte para representar los movimientos cuantificados de las uniones interatómicas en una molécula, y
2. utilizar un sistema hidráulico para representar un circuito eléctrico simple con elementos en paralelo y en serie.

Al operar una transposición sobre los saberes eruditos para transformarlos en contenidos escolares, puede fabricarse sobre los contenidos y procedimientos científicos una nueva representación analógica mediada por conceptos cotidianos o ficticios cercanos al *conocimiento del sentido común* de los estudiantes. Nuestra adjetivación de *concreto* para el concepto de análogo hace hincapié en que la intención, al crear una analogía, es apelar a conceptos de significación ya conocida por los estudiantes. Suponemos, entonces, que ellos podrán operar sobre dichos contenidos desde su *pensamiento operatorio concreto* –tomando este término de la teoría piagetiana (Piaget e Inhelder, 1959) –, y estimamos que, mediante estrategias didácticas apropiadas, ellos podrán también desarrollar un *pensamiento operatorio formal* hipotético-deductivo sobre los contenidos analógicos.

Por otra parte, desde la perspectiva constructivista, cabe considerar que el razonamiento analógico es la llave que permitiría el acceso a los procesos de aprendizaje, ya que todo nuevo conocimiento incluiría una búsqueda de aspectos similares entre lo que ya se conoce y lo nuevo, lo familiar y lo no familiar (Pittman, 1999):

Analogies and metaphors are cognitive mechanisms that provide a means for understanding the structure of unfamiliar conceptual domains. (Christidou y Koulaidis, 2001: 134)

El uso de analogías puede jugar entonces un papel muy importante en la reestructuración del marco conceptual de los estudiantes, puede facilitar la comprensión y visualización de conceptos abstractos, puede despertar el interés por un tema nuevo, y puede estimular al profesorado de ciencias a tener en cuenta el conocimiento las concepciones previas de los estudiantes.

#### 12.6.4.4.2 El modelo didáctico analógico

Lydia Galagovsky (1997) define el *modelo didáctico analógico* (MDA) como un dispositivo representacional y retórico de la ciencia escolar.

La idea básica para construir un modelo didáctico analógico es revisar el tema que se quiere enseñar, abstraer sus conceptos nucleares y las relaciones funcionales entre ellos, y traducir todo a una situación, lo más inteligible posible para el estudiantado, que provenga de la vida cotidiana, de la ficción, o del sentido común.

La estrategia didáctica para operar con un MDA requeriría tres momentos diferenciados:

- El modelo didáctico analógico recupera la importancia de la argumentación*
1. *En primer lugar, el MDA se aborda generalmente antes del contenido científico escolar específico. Los estudiantes, comprendiendo esta situación analógica inicial, pueden formular hipótesis sobre qué, por qué, cómo y cuándo ocurren diferentes fenómenos en el análogo, que luego se relacionan con los contenidos, procedimientos y lenguaje de la ciencia erudita. Dentro del MDA se establecen hipótesis, se argumenta, se justifican fenómenos, se predicen situaciones que pueden, incluso, ponerse a prueba.*

Un registro escrito de esta primera etapa es fundamental para facilitar momento de la metacognición, en el que se analizan los alcances y limitaciones de la analogía. Este registro puede ser una tabla, un mapa o una red conceptual (Galagovsky, 1996), un esquema, un relato, una V de Gowin, la contestación a un cuestionario.

2. En segundo lugar, una vez trabajada la situación analógica desde el conocimiento de los estudiantes, se presenta el modelo teórico escolar. El trabajo de los estudiantes consistirá, entonces, en la elaboración de hipótesis que relacionen el MDA y el modelo escolar, a través de sus similitudes y diferencias. La consigna didáctica podría estar apoyada en un cuestionario, una tabla, una red conceptual, que puedan compararse luego con los escritos que resultaron de la primera etapa del MDA.
3. Finalmente, el momento de la metacognición, entendida como la regulación del aprendizaje (Monereo Font, 1995) o como la toma de conciencia del estudiante acerca del salto cognitivo que ha logrado (Galagovsky, 1993a), constituye el propósito didáctico de la última etapa del MDA. En este momento se requiere, por parte de los estudiantes, un análisis para explicitar las transposiciones que operaron en los procesos de analogación: los recortes, simplificaciones y aproximaciones que se produjeron, las transferencias y desplazamientos del contenido, los rangos de validez conceptual y operacional, y el conjunto de operaciones inversas que nos permiten recuperar el modelo original (la condición de reversibilidad). Esta etapa de la metacognición, en tanto que supone un tipo de pensamiento del más alto nivel de conceptualización y la revisión de los mecanismos propios de adquisición del conocimiento, es la etapa de mayor dificultad cognitiva.

Los expertos utilizan representaciones explícitas e implícitas de los modelos teóricos, con una movilidad entre las mismas (saltos de una a otra) que los estudiantes pueden no percibir fácilmente. Además, y con fines didácticos, se utilizan simplificaciones de modelos complejos, que se alejan de estos, siendo esta diferencia clara para los profesores y *no* evidente para los estudiantes. La movilidad representacional del profesorado de ciencias, que salta de un tipo de representación a otra en la enseñanza,

con cabal conocimiento de lo que hace y por qué lo hace, choca con la rigidez representacional inicial de los estudiantes.

Sugerimos que el uso de diferentes tipos de representación o definición favorece la incorporación de los modelos teóricos escolares. Las representaciones analógicas pueden ser utilizadas con provecho en la clase de ciencias.

#### 12.6.5 *Las metaciencias en la ciencia escolar*

Para esta sección, referimos a los lectores a los elementos teóricos y prácticos expuestos en la primera parte de la tesis. Nos interesa recuperar las propuestas didácticas que *fundamentan el currículo de ciencias* en sus diferentes niveles de concreción por medio de una variedad de usos de las metaciencias.

Hemos revisado los siguientes treinta y cuatro trabajos:

Conant (1951); Schwab (1964); Gagliardi (1988); Sánchez Ron (1988); Bybee (1990); García Doncel (1992); Gil-Pérez (1993); Guilbert y Meloche (1993); Duschl (1997); Meyling (1997); Boersema (1998); Clough (1998); Cobern y Loving (1998); Dawkins y Glatthorn (1998); Hammerich (1998); Hodson (1998); Izquierdo (1998c); Jansen y Voogt (1998); Kipnis (1998); Loving (1998); Machamer (1998); Matson y Parsons (1998); Nott y Wellington (1998a); Barth (1999); Erduran (1999b); Galili y Hazan (1999); Gruender (1999); Martí (1999); Seroglou y Koumaras (1999a); Fernández González (2000); Hernández González y Prieto (2000); Irwin (2000); Justi y Gilbert (2000); Solbes y Traver (2001).

Estos trabajos no sólo constituyen propuestas prácticas de integración de las metaciencias en el currículo de ciencias, sino que también proporcionan *lineamientos teóricos (rationales)* para efectuar tal integración. De allí el interés de consignarlos aquí como la bibliografía seleccionada en torno al problema de la didáctica de la epistemología.

Nuestro meta-análisis de este conjunto de trabajos nos ha llevado a formular las diversas consideraciones acerca de la formación epistemológica del profesorado de ciencias que se exponen en la primera parte de la tesis.

Entre las propuestas disponibles de integración de las metaciencias en el proceso del desarrollo curricular en ciencias, debemos señalar que son mucho más numerosas las que se valen de la *historia de la ciencia*. La integración de la epistemología en el currículo de ciencias con finalidad específica, cultural o instrumental está aún en sus tímidos inicios.

### 12.7 La *función modelo teórico* en la ciencia escolar

|  |   |
|--|---|
| Se examina<br>la<br><i>mediación<br/>analógica</i> | La principal aportación para la formación epistemológica del profesorado de ciencias que se ha ido perfilando en este capítulo, es la idea de que parte del rol que el modelo teórico tiene en la ciencia erudita puede ser asumido, en la ciencia escolar, por diversos elementos <i>mediadores</i> . Entendemos por elemento mediador aquella representación de un modelo abstracto que funciona como <i>heurístico</i> para ayudar, en la clase de ciencias, a pensar, decir y hacer sobre el mundo. |
|--|---|

En este sentido, ampliamos el significado restringido que tiene el concepto de *modelo teórico escolar* (transposición del modelo teórico erudito), para abarcar también una serie de estrategias de base analógica (*mediadores*) que poseen, por lo menos, estas seis características:

1. *Abstracción*. Tal como los propios modelos teóricos, estos mediadores son abstractos, y no lingüísticos.
2. *Potencia semiótica*. Los mediadores pueden definirse (representarse) de diversas maneras, por medio del lenguaje natural y de variados sistemas simbólicos. La definición constituye lo que en el capítulo 10 llamamos el *núcleo teórico* del mediador.

3. *Potencia analógica*. Los mediadores conectan analógicamente con los hechos del mundo y con los modelos teóricos, sirviendo de puente entre unos y otros (Clement, 1993; Glynn, 1995, 2000).
4. *Potencia interventiva*. Los mediadores dan significado a los hechos del mundo, enlazándolos y coordinándolos, a fin de que se pueda intervenir activamente sobre ellos.
5. *Potencia sintética*. Los mediadores pueden hacer *coalescer* en torno de sí los diversos elementos de la ciencia escolar (conflictos cognitivos, hechos paradigmáticos, ideas estructurantes, argumentaciones,...).
6. *Normatividad*. Los mediadores están diseñados con el fin último de aproximar la ciencia escolar hacia la ciencia erudita. Por lo tanto, contienen en sí mismos la componente normativa de la ciencia como cuerpo cultural.

|   |   |
|---|---|
| Se define<br>la capacidad<br>de un mediador<br>de<br><i>estar</i><br><i>en función</i><br><i>modelo</i><br><i>teórico</i> | Decimos entonces que los mediadores analógicos son sistemas simbólicos abstractos, lingüísticamente definidos, que pueden estar, u operar, <i>en función modelo teórico</i> . Esta expresión quiere significar que los mediadores satisfacen, de forma restringida y dentro del contexto de la ciencia escolar, la función de <i>dar sentido</i> que Giere atribuye a los modelos teóricos en la ciencia erudita. |
|---|---|

Nuestra idea de función modelo teórico puede ejemplificarse para los lectores a través de tres trabajos de investigación recientemente generados en el Departament.

El primer trabajo se debe a Conxita Márquez (Márquez et al., 2001). En este ejemplo, se utiliza una *representación concreta* (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001) del modelo teórico escolar que se desea enseñar. Esta representación, bajo la forma de una gráfica llamada *ciclo del agua*, sirve al profesor y a los estudiantes para pensar sobre las transformaciones que experimenta el agua en la naturaleza.

En la unidad didáctica analizada por Márquez, hay todo un *registro semiótico* muy rico dedicado a hablar sobre el modelo mediador.

El segundo trabajo pertenece a Adrianna Gómez (Gómez y Sanmartí, 2001). En este ejemplo, otra representación concreta, en forma de maqueta, se diseña para pensar sobre el bosque como ecosistema y para introducir el concepto de biodiversidad. Nuevamente, se ve en la transcripción de los diálogos de clase que los estudiantes y la profesora combinan discursos sobre el modelo teórico (bosque) y sobre el modelo mediador (maqueta).

|  |   |
|--|---|
| Nuestra actividad sobre la <i>Muerte en el Nilo</i> pone la trama policial en función modelo teórico | El tercer trabajo es nuestra propia actividad para enseñar el razonamiento abductivo, presentada en la primera aplicación de la tesis. En este ejemplo, la <i>trama</i> (abstracta) de la novela policial, definida por sus representaciones en el libro y en la película, opera en función modelo teórico. |
|  | La historia ficcional detectivesca proporciona el campo semántico de partida para construir el modelo de abducción. A partir de allí, mediante un mecanismo analógico, se lleva este modelo al campo de las ciencias.   |

Queremos arriesgar la afirmación de que la idea de *función modelo teórico* se podría aplicar a muchas otras innovaciones de la didáctica de las ciencias que diversos autores han señalado como prometedoras. Hemos elegido como ejemplos paradigmáticos tres propuestas de nuestro propio lugar de trabajo, en un intento de ser coherentes con el modelo de racionalidad hipotética que aquí se sustenta en esta tesis.

*La tercera aplicación propone una actividad de análisis de contenidos fundamentada epistemológicamente (capítulo 1)*

En este capítulo proponemos a los profesores de ciencias que apliquen los elementos conceptuales esbozados en el anterior al análisis de un modelo teórico de la ciencia escolar, el modelo de *onda*. Este modelo es de indudable importancia para todas las ciencias naturales, ya que aparece en la explicación teórica de fenómenos tan diversos como la difracción en física, los espectros en química, la conducción nerviosa en biología y los sismos en geología. Esto además de las numerosas aplicaciones de las ondas en el campo de la tecnología, tales como el radar y el sonar, el microondas, la resonancia magnética, la radiografía, la sintetización de la voz:

El modelo ondulatorio reviste sin duda una gran importancia en la explicación científica actual de muchos fenómenos físicos y su conocimiento resulta necesario para interpretar los fundamentos de diversas aplicaciones tecnológicas. (Fernández et al., 1993: 309)

Se resume el capítulo

En la primera sección se justifica la consideración del modelo de ondas y campos como uno de los *modelos irreductibles* de la física, que complementa los otros modelos considerados en el *Proyecto 12-16* (Izquierdo et al., 1992; Izquierdo, 2001), ya mencionado en esta tesis.

La segunda sección recoge una muestra seleccionada de actividades didácticas que nos resultan sugerentes para la enseñanza del tópico de ondas. Agrupamos estas actividades bajo los cuatro *momentos macrocurriculares* que definimos en el capítulo anterior por analogía con el modelo generativo:

1. construcción de los hechos paradigmáticos,
2. construcción de los modelos didácticos,

3. construcción de los modelos teóricos escolares, y
4. construcción del modelo de síntesis.

La tercera sección retoma los cinco elementos caracterizadores de la ciencia escolar definidos en la sección 12.6: estructura macrocurricular, estructura microcurricular, lenguaje, analogía y metaciencias. Con ellos, echamos una mirada de conjunto a las actividades anteriores. Esta mirada constituye un intento pionero de presentar a los profesores de ciencias un ejemplo paradigmático de análisis del proceso de fundamentación epistemológica de la ciencia escolar.

En la cuarta sección se hacen unas breves consideraciones para justificar la elección del tema de la *epistemología de la ciencia escolar* como tercera aplicación para la formación del profesorado de ciencias. Hacemos ver que esta aplicación surge de la confluencia de tres vertientes:

1. la combinación de diversas líneas de investigación didáctica en las cuales hemos hecho contribuciones,
2. nuestra actividad docente en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, y
3. el interés por inscribirnos en el marco del proyecto curricular que dirige Mercè Izquierdo.

### 13.1 *Ondas y campos como una de las dos perspectivas mecánicas*

La explicación *mecánica* del mundo, en términos de causas eficientes e interacciones instantáneas, a distancia o de contacto, ha sido sin duda importantísima en la historia de la ciencia, al punto de que a ella se han intentado reducir otras explicaciones teóricas, como las electromagnéticas, termodinámicas, químicas y anatómicas (Giannetto, 1999):

From Democritus to Hertz, and perhaps beyond, many scientists and philosophers have afforded mechanical explanations a privileged status. Mechanical explanations, and the mechanical terms utilised in them, are seen as clear, intelligible and not themselves in need of explanation. All natural phenomena are seen in need of mechanical explanation, and once this is achieved nothing more is presumed to be required. (Chalmers, 1999a:

12)

La centralidad de la mecánica en la historia de la ciencia y de la cultura ha llevado naturalmente a otorgar a esta *visión teórica del mundo* un lugar preeminente en el currículo de ciencias para la educación obligatoria.

Ahora bien, la mecánica clásica como disciplina científica plantea una serie de profundos *obstáculos didácticos* que han sido objeto de estudio en numerosas publicaciones<sup>310</sup>. Son conocidas, entre otras cosas:

1. las ideas del sentido común acerca de las diferentes magnitudes mecánicas (Laburu y de Carvalho, 1992; Osborne y Freyberg, 1995),
2. las dificultades que el aparato formal de las diversas formulaciones de la mecánica introduce, incluso a nivel universitario (Costa y Domenech, 1998),
3. los patrones de razonamiento incorrectos o incompletos puestos en acción por los estudiantes en contextos mecánicos (Gutiérrez, 1999; Pozo, 1999b), y
4. los problemas que se presentan para la comprensión de la visión mecánica desde otras disciplinas científicas y tecnológicas (Barrado et al., 1998; Speltini e Iglesias, 1998).

La visión mecánica tradicional, *localizada*, se estableció en términos de *partículas* e *interacciones* a distancia y de contacto. Complementaria con ella, se desarrolló durante el siglo XIX una perspectiva *deslocalizada*, basada en la introducción de los llamados *campos*. Intrínsecamente ligada con esta visión, está la idea de *ondas* (Martín Quero y Solbes, 2001).

Para Javier Perales (1997), el movimiento ondulatorio, junto con el movimiento de la materia (partículas),

---

<sup>310</sup> Entre ellas: di Sessa (1983); Driver et al. (1989); Carey (1992); Laburu y de Carvalho (1992); Osborne y Freyberg (1995); Manganiello (1998); Gutiérrez (1999); Matthews (2000); Martín Quero y Solbes (2001); Martínez et al. (2001).

constituye uno de los mecanismos básicos de propagación de la energía en la naturaleza.  
(p. 235)

Algunos autores señalan que estas dos visiones mecánicas fueron alternativamente favorecidas a lo largo de la historia de la ciencia, según la concepción del mundo que se quisiera privilegiar (Bonizzoni y Giuliani, 1999). Esta dicotomía entre los acercamientos *particularistas* y *ondulatorios* es bien conocida en el caso de la modelización de la luz (Osuna y Martínez Torregrosa, 2001).

Las dificultades reseñadas para la mecánica en general se registran también en el aprendizaje del modelo ondulatorio (Fernández et al., 1993). A esto se suma el papel secundario que se ha otorgado tradicionalmente a las ondas y los campos en el currículo de ciencias para la educación obligatoria.

|   |  |
|---|--|
| Recuperamos estudios de la didáctica de las ciencias sobre el <i>modelo de onda</i> | Dentro de la didáctica de las ciencias, hemos recogido diversos trabajos enfocados en el tema de ondas, que apuntan a la importancia curricular que debería tomar este concepto en primaria, secundaria, bachillerato y universidad. |
|---|--|

- \* Por ejemplo, Linn y Slotta (2000), dentro del proyecto WISE para secundaria, atribuyen a las ondas un papel destacado. Uno de los ejemplos más importantes tratados por estos autores es el de los mecanismos de propagación de la luz.
- \* En otro orden de cosas, se ha propuesto el concepto de ondas (relacionado con la energía) como un *concepto globalizador* para organizar un curso universitario de postgrado para ingenieros (Manganiello, 1998).
- \* Por su parte, Aballone y otros (1993) afirman que, en el modelo de ondas, muchas veces se utilizan *analogías* para sortear el tratamiento matemático riguroso de algunos temas, y que estas analogías, a veces insuficientes, pueden generar dificultades de comprensión y errores conceptuales.

- \* Los trabajos de Teixeira (1982), Nott y Welligton (1998a), Gagliardi y Giordano (2001), y Osuna y Martínez Torregrosa (2001) analizan la cuestión de enseñar el tema de la luz integrando las aportaciones de la historia de la ciencia.
- \* La acústica también provee un campo de fenómenos cercanos a los estudiantes, que pueden servir para anclar significativamente el modelo de onda. Sin embargo, tal como señalan muchos autores (Roig, 1982; Fernández et al., 1993; Linder, 1993; Perales, 1997), la acústica es una disciplina que pocas veces se desarrolla en el currículo de secundaria:

Este hecho contrasta con la incidencia social de los fenómenos acústicos. (...) [L]a tecnología actual se sirve del sonido y sus fundamentos para lanzar al mercado instrumentos con las más diversas aplicaciones. (Perales, 1997: 233)

- \* Las representaciones y modelos analógicos han sido importantes a lo largo de la historia de la ciencia como heurísticos que ayudaron a los científicos a pensar sobre las ondas y los campos. En esta línea, Steinle (1999) describe el caso de Faraday, cuyas “curvas magnéticas” representaron un paso en el camino a la formulación de la idea del campo electromagnético. De allí el valor que se atribuye a estos mediadores para la ciencia escolar.

Las consideraciones teóricas y los antecedentes de investigación disponibles en la didáctica de las ciencias, de los que hemos expuesto aquí sólo unos pocos, nos llevan a reconocer el interés del *modelo irreductible de ondas y campos* para la educación científica, especialmente en el tramo comprendido entre los 14 y los 18 años.

### **13.2 Análisis epistemológico de la implementación de la idea de ondas en la física de secundaria**

El análisis epistemológico de la ciencia escolar es presentado a los profesores de ciencias en relación con una temática de la física, las ondas y campos, que creemos que puede funcionar como ejemplo paradigmático. En particular, nos interesa concentrarnos en la *acústica* como hilo conductor para mostrar en acción los diversos elementos conceptuales del capítulo 12.

Se presenta el sistema de ideas curriculares puesto en marcha en esta aplicación

Por lo tanto, nos ubicamos en el *modelo irreductible* de ondas y campos. Tomamos la acústica como *campo teórico estructurante* dentro de la física (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001d). El concepto de onda nos sirve como *conceptor*. El sonido musical y la voz humana proveen los *hechos paradigmáticos*.

Se resume la sección

Esta sección está estructurada en cuatro apartados, que se corresponden con los cuatro grandes momentos macrocurriculares que hemos propuesto, aplicados a la introducción del tema de ondas en la educación científica obligatoria. Los momentos, inspirados en el modelo generativo, tal como se dijo en el capítulo anterior, son los siguientes:

1. *Construcción de los hechos paradigmáticos*. Este primer momento se refiere a la búsqueda, en situaciones de la vida real, de fenómenos (*hechos del mundo*) que caigan bajo la idea de ondas. La recolección de fenómenos nos permite tener un conjunto amplio de hechos empíricos susceptibles de ser luego reconstruidos con el modelo teórico escolar de ondas y campos.

Recuperamos la idea de mediación analógica

2. *Construcción de los modelos didácticos*. Este segundo momento está dedicado a recoger representaciones y análogos del fenómeno ondulatorio; ponemos particular énfasis en las ondas sonoras. Estos modelos didácticos pueden ser usados como *mediadores* para presentar los modelos teóricos escolares. La fase de introducción puede usar, entre otros mecanismos, la *analogía anclada*, que se mencionó en la primera aplicación.

3. *Construcción de los modelos teóricos escolares*. Este tercer momento introduce los modelos con los cuales se reconstruyen los fenómenos ondulatorios recogidos en el primero; se debería seguir una progresión conveniente de inclusividad, formalismo y complejidad. Los modelos teóricos son apoyados en las analogías y representaciones construidas en el momento curricular anterior.

4. *Construcción del modelo de síntesis.* El cuarto momento tiene por objetivo conseguir la síntesis autorregulada. Se procede a la integración de los diferentes atributos de la idea de ondas, por medio del estudio de las características acústicas de la voz humana.

Para sustentar los dos últimos momentos curriculares, retomamos las ideas de Máximo Luffiego (2001) acerca de la *retención por teorización* y la *retención por aplicación*.

Los cuatro apartados que siguen recogen sólo algunos pocos de los elementos que hemos encontrado en nuestro análisis bibliográfico (Adúriz-Bravo, 1999a); son los que hemos considerado que pueden llegar a ser más representativos para la fundamentación epistemológica. A pesar de que la investigación sobre la enseñanza de ondas y campos no es de las más desarrolladas en la didáctica de las ciencias actual, hay disponible una cantidad importante de estudios<sup>311</sup>.

#### 13.2.1 *Selección de hechos paradigmáticos*

|   |  |
|---|--|
| Recuperamos<br>la idea<br>de la<br><i>construcción<br/>de hechos<br/>paradigmáticos</i> | Este primer momento trata de recolectar aquellos conjuntos de <i>hechos del mundo</i> (Izquierdo, 1990b, 1992, 1994b) que pueden ser luego reconstruidos en el seno del modelo de ondas y campos en los diferentes niveles de la educación científica obligatoria (0-16 años). |
|---|--|

Para este primer momento macrocurricular, retomamos las excepcionales aportaciones didácticas de Laurence Maurines (1992), provenientes del estudio de las ideas de los estudiantes acerca de la propagación de señales mecánicas. Esta autora muestra que la enseñanza de la idea de ondas, en Francia y en otros países, se realiza mediante un enfoque experimental, descriptivo y macroscópico, centrado en diferentes ejemplos típicos: la cuerda, el resorte, el agua, el sonido y la luz.

---

<sup>311</sup> Nosotros hemos recolectado alrededor de treinta trabajos, como puede verse en la bibliografía.

En el caso de las ondas unidimensionales, Maurines (1992) presta atención a la complementariedad de dos de las representaciones tradicionales del modelo: la gráfica de la perturbación para cada punto del medio en un instante de tiempo,  $y(x)$ , y la gráfica de la perturbación de un punto del medio para cada instante de tiempo,  $y(t)$ . Estas representaciones se usan en forma secuencial (para distintos tiempos y puntos) y combinada.

Otro aspecto al que la autora hace referencia es la dificultad de atender a diferentes variables caracterizadoras del movimiento ondulatorio (velocidad de propagación, ancho, duración, amplitud) y sus combinaciones funcionales, como puede ser  $L=v.T$ .

Maurines da cuenta de los modelos del sentido común acerca de la propagación de pulsos en cuerdas, por medio del concepto de *capital*, que es una *pseudomagnitud* física híbrida construida a partir de magnitudes físicas genuinas consideradas adherentes (Maurines y Saltiel, 1990)<sup>312</sup>.

|   |   |
|---|---|
| Las<br><i>olas</i><br>son el<br>hecho<br>paradigmático<br>que permite<br>organizar<br>otros fenómenos<br>ondulatorios | El modelo de onda que consideramos primigenio, a partir del cual se podrían organizar los demás haciéndolos <i>coalescer</i> a su alrededor, es el de las <i>olas</i> en el mar <sup>313</sup> . Varios autores han propuesto actividades en torno a este modelo; algunas de ellas son las que reseñamos a continuación, ubicadas en tres párrafos temáticos. |
|---|---|

### 13.2.1.1 Ondas e información

Algunos fenómenos de la vida cotidiana son especialmente potentes para introducir la idea de que las ondas involucran la transmisión de *información*.

---

<sup>312</sup> Se pueden encontrar entidades análogas a esta noción de capital en otras áreas de la física del sentido común.

<sup>313</sup> De hecho, en muchos idiomas europeos, *ola* y *onda* son la misma palabra.

### *Actividad 1: El pato en el estanque*

Se presenta la situación de un pato de goma flotando sobre la superficie de un pequeño estanque. Se arrojan piedras al estanque, en un punto lejos del pato. Se pide a los estudiantes que predigan el movimiento del pato a causa de la perturbación del agua provocada por las piedras.

### *Actividad 2: La ola humana*

Una analogía para este modelo inicial de onda mecánica está presente en el mundo experiencial de los estudiantes, y puede ser recuperada con provecho. Se trata de la llamada *ola humana* en los estadios de fútbol. La “ola del fútbol”, por su sencillez y significatividad, ha sido señalada como uno de los mediadores analógicos más felices para la incorporación de la idea de ondas (Utges et al., 2001).

Utilizando (e incluso recreando) este recurso en la clase de ciencias, puede llamarse la atención de los estudiantes acerca de la característica fundamental de las ondas: que involucran la propagación de la información (la *perturbación*) pero no la de la materia (el *medio*).

Esta característica de las ondas, en la que se concentra la dificultad cognitiva que ellas presentan, exige la coordinación compleja de dos movimientos; es por eso que Piaget y García (1973) llaman al fenómeno ondulatorio un *movimiento de movimientos*.

#### 13.2.1.2 Ondas y perfiles

La idea de ondas es a menudo asociada a un “perfil” característico que se desplaza en el espacio. El trabajo de Utges y otros (2001) propone una *tipología* de las visiones del sentido común acerca de las ondas en la que se hace patente esta asociación.

La relación entre una onda y su perfil se puede explorar por medio de algunos fenómenos relacionados con las vibraciones mecánicas.

### Actividad 3: La marca roja<sup>314</sup>

Se dispone de una cuerda larga suelta por un extremo (O) y fijada a la pared por el otro. Una marca roja se realiza en la cuerda en el punto R. Un chico sostiene la cuerda en el punto O. El chico mueve su mano y observa una “forma” (pulso) en el instante t.

¿Hay algún modo de mover la mano de modo que la forma alcance la marca roja antes que en el caso anterior?

Si se contesta sí, ¿qué modo hay?

Si se contesta no, ¿por qué?

#### 13.2.1.3 Acústica

|  |  |
|--|--|
| Recuperamos el concepto de <i>campo teórico estructurante</i> (capítulo 5) | La acústica es el <i>campo estructurante</i> (conjunto de ideas) que hemos seleccionado para ejemplificar, para los profesores de ciencias, nuestra versión del análisis epistemológico de contenidos de la ciencia escolar. |
|--|--|

La acústica como campo constituye un ejemplo potente de ondas mecánicas microscópicas, que puede favorecer luego el paso a las ondas no materiales, tales como las electromagnéticas. El sonido, en tanto que fenómeno de ondas *longitudinales*, introduce elementos nuevos respecto de los movimientos armónicos tradicionalmente considerados como primeros hechos paradigmáticos.

Perales (1997) presenta un análisis estructural de los contenidos de acústica presentes en los libros de texto de secundaria, bachillerato y universidad, en términos de las relaciones de *atributo* y *subconcepto*, que nos interesa recuperar.

### Actividad 4: El teléfono de hilo

La acústica se puede trabajar con juguetes tradicionales, presentes en el mundo experiencial de los estudiantes; se puede recuperar, por ejemplo, un modelo

---

<sup>314</sup> Ver: Maurines (1992); Fernández et al. (1993).

rudimentario de teléfono. Presentamos la formulación textual de Perales (1997) para esta actividad:

En alguna ocasión habrás construido con algún amigo un “teléfono de hilo” usando dos vasos de plástico y un trozo de hilo que une sus fondos (mira la figura). ¿Cómo crees que funciona? ¿Por qué? Explícalo.

#### *Actividad 5: El fonendoscopio (Perales, 1997)*

Cuando estás enfermo y acudes al médico, suele auscultarte con un instrumento que se llama estetoscopio (o fonendoscopio). ¿Para qué sirve? ¿Cómo crees que funciona? Explícalo.

\* \* \*

A partir de aquí, hemos recolectado varias experiencias más complejas que se acercan a la acústica a través de los instrumentos musicales y de los artefactos tecnológicos.

#### *13.2.2 Selección de modelos didácticos*

En este apartado se recogen algunos de los modelos didácticos disponibles en la literatura. Los modelos didácticos que hemos encontrado son de diversa índole: representaciones de los modelos teóricos, visualizaciones, analogías, análogos concretos.

Recuperamos entonces la idea de utilizar, *en función modelo teórico*, diversas representaciones concretas de los modelos teóricos escolares sobre la acústica.

Para este momento curricular, rescatamos las aportaciones de Graciela Utges y sus colaboradores (Utges et al., 2001), que proveen una importante recopilación y organización de modelos analógicos para las ondas.

Entre los múltiples dominios analógicos que proponen estos autores, se cuentan:

1. el dominó, la “ola del fútbol”, el trigal, el ciempiés, como casos *discretos*,
2. las banderas flameando, la arena del desierto, el tambor, la serpiente, como casos *continuos*, y
3. el ratón bajo la alfombra, los semáforos sincronizados, el slinky, como situaciones analógicas más elaboradas.

#### *Actividad 6: Un análogo de pulso*

La citada Maurines (1992) habla de un análogo concreto del modelo de onda muy difundido en Francia, que tiene utilidad pero puede plantear problemas didácticos en su utilización. Se trata de una tablilla de madera con tres clavos dispuestos en un arreglo triangular. Por esos clavos se desliza un hilo. El avance de la tablilla representa la propagación de un pulso por un medio material.

#### *Actividad 7: El tubo de Kundt*

Una representación didáctica que puede resultar adecuada para el nivel de ESO es la que se consigue con el célebre *tubo de Kundt* (Nadal y Sanz, 2000).

|   |  |
|---|--|
| Se consigna el papel del <i>tubo de Kundt</i> en el modelo cognitivo de ciencia escolar | El tubo de Kundt, dentro de nuestra reconstrucción cognitiva de la ciencia escolar, funcionaría como una representación simbólica, no lingüística, del modelo teórico de <i>sonido</i> . Por tanto, participaría del núcleo teórico que <i>define</i> ese modelo. El tubo de Kundt, además, podría ser visto como una instancia de experimentación científica escolar que opera en función modelo teórico. |
|---|--|

#### 13.2.3 *Selección de modelos teóricos escolares*

Para la introducción de los modelos teóricos escolares en el tema de ondas, podemos proponer una progresión tentativa como la siguiente:

### 1. Distorsión en un medio material.

- b. Movimiento armónico simple.
- c. Onda monocromática transversal.
- d. Ondas longitudinales.
- e. Ondas complejas. Pulsos.

A partir de este primer punto pueden presentarse algunos fenómenos sencillos relacionados con las ondas: eco, refracción, resonancia.

### 2. Perturbación en un campo.

#### 2.1. Ondas no materiales.

Este segundo punto puede conducir a la introducción de fenómenos más complejos: difracción, interferencia.

### 3. Magnitudes características.

- a. Perfil
- b. Velocidades (fase, grupo, frente).
- c. Espectro.

El tercer punto puede preparar el camino al tratamiento de fenómenos muy complejos: Doppler, \_erenkov.

### 4. Propagación de información.

- a. Interacción radiación-materia.

Debe entenderse que esta progresión no es estrictamente lineal; las diversas temáticas se solapan en muchos aspectos. Nuestra propuesta más bien debería ser entendida como una guía para la selección de los diversos hechos del mundo que se pueden ir reconstruyendo con el modelo de ondas sin perder el hilo teórico.

Los modelos teóricos escolares seleccionados serán entonces aquellos que condigan con la progresión de hechos reconstruidos. El paso 3 involucra la introducción de la

matemática, lo que entraña el peligro de desvirtuar el proceso de modelización. Aquí habría que ser cuidadosos y utilizar sólo las entidades *necesarias* para una adecuada representación del fenómeno en el nivel educativo en el que se está trabajando.

#### 13.2.4 Selección de actividades de integración para generar el modelo de síntesis

Para este último momento curricular, hemos trabajado principalmente con el estudio de la *acústica de la voz humana* (Adúriz-Bravo, 1997b, en revisión-a), porque creemos que la cantidad y la complejidad de los elementos que involucra pueden favorecer la aplicación y la integración de las diferentes características del modelo de onda. Este cuarto momento podría ser implementado en los niveles más altos de la educación científica obligatoria y en la etapa postobligatoria, incluyendo la universitaria inicial, es decir, en la población de estudiantes de entre 14 y 20 años.

##### *Actividad 6: La identificación de las vocales* (Adúriz-Bravo, 1999a, 1999d)

La comprensión completa del mecanismo de *fonación* en la especie *homo sapiens sapiens* involucra la combinación de una gran variedad de aspectos: físicos, perceptuales, culturales, artísticos (Adúriz-Bravo y Schneider, 1996). De entre ellos, el aspecto *acústico* estricto es de suficiente complejidad como para proveer un contexto rico para trabajar en un modelo de síntesis de las ondas.

Nos centramos en el concepto estructurante de *timbre*, que combina en sí mismo cuatro características de la voz relativamente independientes: la identidad, la vocalidad, el color y el contexto de emisión. Es por su alta inclusividad que elegimos este concepto como organizador del proceso de síntesis.

Trabajamos sobre la consigna de caracterizar *acústicamente* las diferentes vocales emitidas por una misma voz, sobre una misma nota y con una misma intensidad. Esta consigna exige la utilización de diversas representaciones del mismo fenómeno: gráficas, analogías, visualizaciones, simulaciones.

*Actividad 7: La ópera no se termina hasta que no canta la gorda* (Adúriz-Bravo, 1999d; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Duschl, 2001)

Partiendo de la base de la actividad didáctica anterior, especialmente dirigida al nivel superior de la ESO y al Bachillerato, puede intentarse una integración final del modelo de onda a través del concepto de *síntesis de Fourier*.

Nosotros hemos utilizados el siguiente problema científico escolar:

¿Cómo hacen las Valquirias de Wagner para hacerse oír por encima de la orquesta durante la representación de una ópera?

La respuesta a este problema involucra muchos de los elementos conceptuales que se fueron generando en los tres momentos curriculares anteriores. Para ponerla en acción, se pueden recuperar diversos trabajos que han señalado la acústica musical como un área de interés para los estudiantes y de valor cultural en el currículo de ciencias.

### 13.3 Pistas para un análisis epistemológico

|   |   |
|---|---|
| Recuperamos los cinco <i>elementos</i> para el análisis de la ciencia escolar | En esta sección se organizan algunos de las aportaciones presentadas en las anteriores, usando para ello los cinco elementos de la ciencia escolar que hemos definido: estructura macrocurricular, estructura microcurricular, lenguaje, analogía y metaciencias. |
|---|---|

Queremos apuntar a mostrar cómo el profesorado de ciencias podría llevar adelante autónomamente el análisis epistemológico de la ciencia escolar, durante su propia tarea de desarrollo microcurricular, o *planeación didáctica*.

En la figura 13.1 se enumeran diversas herramientas didácticas que surgen del análisis epistemológico del tema de ondas y acústica.

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| <i>modelo macrocurricular</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Curso de acústica (Perales, 1997).</li> <li>* Unidad “Ondas” (Romero, 2001).</li> <li>* Unidad “La luz y la visión” (Osuna y Martínez Torregrosa, 2001).</li> <li>* Nuestra propia propuesta de progresión.</li> </ul>        |
| <i>modelo microcurricular</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Reconstrucción teórica de hechos paradigmáticos (“ola del fútbol”, cuerda que vibra).</li> <li>* Argumentación científica escolar (teléfono de hilo).</li> <li>* Abducción (ondas transversales y longitudinales).</li> </ul> |
| <i>Lenguaje</i>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Resignificación de términos comunes del lenguaje natural (onda, propagación, perturbación, reflexión, eco).</li> </ul>  |
| <i>Analogía</i>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>* La “ola del fútbol”.</li> <li>* El dominó.</li> <li>* El ratón bajo la alfombra.</li> </ul>   |
| <i>Metaciencias</i>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Uso de modelos históricos sobre la luz y el sonido.</li> <li>* El <i>problema de Alhacén</i> sobre la visión (Nott y Welligton, 1998a)</li> <li>* La síntesis de Fourier.</li> </ul>  |

**Figura 13.1** Esbozo de análisis epistemológico del tema de ondas y acústica en el currículo de ESO, a partir de los cinco elementos de la ciencia escolar.

#### 13.4 La ciencia escolar y sus modelos irreductibles

Tres grandes *motivaciones* subyacen a nuestra elección de la fundamentación epistemológica de la ciencia escolar en el capítulo de ondas como tema para esta tercera aplicación. La primera motivación tiene que ver con intentar integrar diversas líneas de investigación paralelas en las que veníamos trabajando:

1. las aportaciones de la acústica de la voz humana a la enseñanza del tema de ondas en secundaria, bachillerato y universidad,
2. la idea del desarrollo curricular en ciencias como una tecnología basada en modelos teóricos de la didáctica de las ciencias,
3. el modelo cognitivo de ciencia escolar, y
4. las aportaciones de las metaciencias a la formulación del currículo de ciencias en su último nivel de concreción (planeación didáctica).

La segunda motivación proviene de nuestro desempeño docente (1996-1997) en la asignatura *Física 2* del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Podemos afirmar, por tanto, que el problema de mejorar la enseñanza del tema de ondas y acústica se ha construido *en un contexto de práctica real*. Nuestra voluntad de resolver este problema mediante un análisis epistemológico intenta ser coherente con el modelo tecnocientífico que sostenemos para la didáctica de las ciencias.

La tercera motivación surge de nuestra voluntad de generar nuevas propuestas para el *Proyecto 12-16*. En este proyecto, el modelo irreductible de ondas y campos aún no ha sido incorporado, y su implementación didáctica constituye un reto para el futuro.

Se resume el capítulo En la primera sección, se hacen algunas consideraciones acerca de cómo vemos los resultados generales de nuestro trabajo a la luz de la tesis enunciada en el capítulo 1.

En la segunda sección, recuperamos los *objetivos específicos* y los *campos de acción* proclamados para nuestro trabajo (sección 1.2), a fin de organizar con ellos una revisión de nuestras aportaciones.

La tercera sección enumera algunas reflexiones surgidas de echar una mirada de conjunto a la tesis.

En la cuarta sección, intentamos abrir algunas líneas para el trabajo futuro.

#### **14.1 Sustentación de la tesis inicial**

Hemos partido de la base de suponer que la didáctica de las ciencias está actualmente consolidada en gran medida. Sobre este supuesto, hemos intentado generar un primer intento de fundamentación epistemológica de nuestra disciplina, inscrito en la línea de trabajo que se desarrolla en nuestra tesis de maestría (Adúriz-Bravo, 1999b) y en la memoria de acceso a cátedra de Mercè Izquierdo (1999b). Nos hemos inspirado en la idea general de *fundamentación* que se va construyendo consensualmente en el Departament de Didáctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals (Izquierdo, 1995a, 1995b, 2000a; Izquierdo, Espinet et al., 1999), que involucra la identificación de los grandes modelos teóricos disponibles hoy en día para guiar la tarea del profesorado de ciencias.

Ahora bien, podríamos aventurar la afirmación de que la didáctica de las ciencias ha admitido nuestro intento de fundamentación y, durante el proceso, ha mostrado su

complejidad y riqueza como actividad. Hemos identificado, dentro de nuestra disciplina, componentes dirigidas a:

1. la inclusión de la epistemología como elemento fuerte en la educación científica,
2. el autoanálisis epistemológico dentro de un proceso de cientifización, y
3. el análisis de la ciencia escolar como objeto de estudio privilegiado.

Estas componentes nos han inspirado sendas propuestas de formación epistemológica del profesorado de ciencias, delineadas en las aplicaciones.

En esta tesis, hemos tratado de dar una única mirada convergente a la didáctica de las ciencias y la epistemología. Nuestro punto de partida es la propia didáctica de las ciencias, dentro de cuyo campo de conocimiento nos inscribimos. Desde allí nos hemos internado en la epistemología, para buscar en ella diversas herramientas conceptuales que nos resultaran sugerentes para el trabajo de fundamentación. Por último, retornamos a nuestra disciplina, enriquecidos con las aportaciones de la otra.

Hemos intentado, en la medida de nuestras posibilidades, aprovechar al máximo la potencia de la epistemología. Para ello nos ha sido necesario revisar la literatura de esta disciplina, tomar cursos específicos y pedir el asesoramiento de expertos.

La *filosofía* podría definirse como un conjunto de reflexiones sobre las diversas actividades humanas (Moulines, 1991; Estany, 1993), generado al poner en acción la capacidad recursiva de las personas. Hemos querido aprovechar esta idea potente en nuestra tesis, al efectuar una reflexión amplia sobre el campo de la didáctica de las ciencias, en sus papeles de disciplina académica y de práctica profesional. Podríamos entonces caracterizar en parte nuestra tesis como el primer esbozo de una “filosofía de la didáctica de las ciencias”.

Nuestro trabajo de fundamentación es mayormente teórico. La idea del meta-análisis, establecido desde un segundo orden de discurso, ha guiado las diversas estrategias puestas en juego a lo largo de la tesis. Un aspecto destacable de nuestro trabajo es la recolección bibliográfica, que hemos intentado que fuera extensa y variada. Buena parte

de nuestra tesis es un intento de estructurar y valorar esta bibliografía, a fin de hacerla más accesible a los didactas de las ciencias y los profesores de ciencias.

Operacionalizamos la fundamentación epistemológica de la didáctica de las ciencias en un área de investigación en particular: la formación del profesorado de ciencias. Nos concentramos en la relación que hemos llamado *material* entre la didáctica de las ciencias y la epistemología, tocando también otras de las relaciones definidas en nuestra taxonomía.

Nos situamos dentro de la línea de investigación NOS, atendiendo en particular al campo de los diagnósticos y propuestas alrededor de las ideas del profesorado de ciencias acerca de la naturaleza de la ciencia. Esta elección conllevó internarnos en un campo que es a la vez casi inédito y muy promisorio. Dada la orientación que están tomando los currículos de ciencias de muchos países, creemos que la atención a la epistemología que tiene valor para la educación científica pasará pronto a la primera fila de las investigaciones en didáctica de las ciencias.

Como resultado de nuestro trabajo de fundamentación, tomó cuerpo la idea de trasladar tres aspectos específicos de las relaciones entre la didáctica de las ciencias y la epistemología al currículo de formación inicial y a los cursos de formación continuada del profesorado de ciencias. Las tres aplicaciones que creamos para iniciar este traslado han aportado materiales escritos, lineamientos prácticos y contextos empíricos que deseamos que puedan aprovecharse.

Una cuestión que se deriva del hecho de circunscribir nuestra tesis al campo de la formación del profesorado de ciencias, es la de la incidencia *efectiva* que nuestras ideas y propuestas puedan tener en la práctica. La investigación en este campo es a menudo bastante abstracta y normativa, basada en intenciones y marcos generales. Para evitar el peligro de internarnos demasiado por este camino especulativo, hemos procurado desplegar, a lo largo de la tesis, varios intentos de aplicación y concreción de nuestras ideas.

Un mecanismo para anclar nuestras ideas en la realidad de la educación científica ha provenido de nuestra voluntad de difundirlas en la comunidad de la didáctica de las

ciencias (incluidos los profesores de ciencias). Esta voluntad se ejemplifica en diversos puntos de la tesis.

## 14.2 Aportaciones organizadas según los objetivos

En el primer capítulo propusimos para nuestra tesis ocho objetivos específicos, organizados en cinco *campos de acción* complementarios. Retomamos ahora esos campos como guión para destacar nuestras aportaciones.

### 14.2.1 Revisión

Hemos realizado un trabajo de meta-análisis sobre dos centenares de referencias actualizadas en el área de la enseñanza de la epistemología dentro de la educación científica. Este análisis bibliográfico nos ha llevado a diversos logros:

1. Situar nuestro trabajo en el contexto general del área HPS y de la línea NOS (capítulos 1, 2 y 3).
2. Establecer una *taxonomía* de relaciones entre la didáctica de las ciencias y la epistemología (sección 2.2).
3. Proponer un panorama actual de la línea NOS (sección 3.2), en el cual se problematizan dos aspectos, que generan nuevas preguntas de investigación: la relación entre las diversas componentes del conocimiento profesional de los profesores de ciencias, y la relación entre ese conocimiento y la práctica profesional en el aula de ciencias.
4. Cuestionar la elección abusiva de la *nueva filosofía de la ciencia* (1960-1975) para la educación científica, rastrear alternativas existentes, y proponer novedades con respecto a qué epistemología enseñar.
5. Recopilar las *ideas del sentido común* acerca de la ciencia detectadas entre el profesorado de ciencias (sección 3.3) y los *postulados* epistemológicos disponibles en la didáctica de las ciencias para remediar esas ideas (sección 3.5).
6. Organizar el debate acerca de qué epistemología enseñar al profesorado de ciencias (sección 3.5).
7. Recoger cinco *razones* para enseñar la epistemología dentro de la educación científica (sección 3.6).

8. Recopilar antecedentes de organización *cronológica* (sección 4.3) y *temática* (sección 5.1) de la enseñanza de la epistemología.
9. Enumerar algunos cambios en la epistemología del siglo XX y consignar algunos problemas de la concepción basada en teorías.
10. Definir la *agenda de cuestiones* de la didáctica de la epistemología (sección 8.1).
11. Afinar las ideas de nuestra tesis de maestría acerca de la existencia de una autorrevisión epistemológica, y organizar los trabajos de investigación disponibles en esta línea (capítulo 10).
12. Detectar propuestas teóricas para usar instrumentalmente las metaciencias en el diseño curricular en sus diversos niveles de concreción.

Estos logros nos han permitido, hasta cierto punto, dar cumplimiento a nuestra intención de clarificar el panorama actual de la didáctica de la epistemología. Esto constituye un objetivo novedoso dentro de la didáctica de las ciencias, que además es considerado importante en nuestra comunidad académica.

#### 14.2.2 *Análisis empírico y metodología*

Hemos presentado nuevas herramientas metodológicas para la investigación en didáctica de las ciencias:

1. Se diseñó un protocolo NOS dirigido a la población del profesorado de ciencias (apéndice 1).
2. Se propusieron trece dimensiones para el análisis de las propuestas de enseñanza de la epistemología (figura 4.4).
3. Se delineó la técnica del *análisis composicional por campos teóricos estructurantes* para hacer juicios de valor sobre las propuestas (sección 6.1).
4. Se compuso la *matriz de épocas y campos* como herramienta para el análisis de actividades y cursos de epistemología.
5. Se propuso un análisis de los modelos didácticos por medio de sus *elementos* (sección 10.2) y sus *registros* (sección 11.2).
6. Se propusieron tres aspectos para operacionalizar el análisis epistemológico de las disciplinas: *conocimiento, actividad y discurso* (sección 10.1).

7. Se propuso un esquema con cinco elementos para analizar los fundamentos epistemológicos de las secuencias de ciencia escolar (sección 12.6).

Una serie de pequeñas intervenciones ha servido para mostrar en acción estas herramientas y recoger elementos para perfeccionarlas en el futuro:

1. Partes del protocolo NOS fueron usadas, adaptadas, en una investigación acerca del conocimiento profesional de futuros maestros de educación infantil (Espinete et al., 2000; Espinete et al., 2001).
2. El análisis composicional se llevó a cabo, en detalle, sobre cuatro propuestas de enseñanza de la epistemología (sección 6.2) y, en forma clasificatoria, sobre otras treinta (apéndice 4). Varios ejemplos paradigmáticos de nuestro procedimiento de análisis fueron validados a través de publicaciones.
3. Se utilizó la matriz de épocas y campos para diseñar diversas intervenciones de formación del profesorado de ciencias.
4. El esquema curricular se puso en acción en el diseño de un primer esbozo de crédito para la ESO.

#### 14.2.3 *Desarrollo conceptual*

A lo largo de esta tesis, construimos diversas herramientas conceptuales que encontramos necesarias para progresar en el campo de la didáctica de la epistemología. Las más importantes, a nuestro juicio, serían:

1. Los doce *criterios* para guiar la enseñanza de la epistemología al profesorado de ciencias (sección 3.5).
2. La estructuración de los diversos elementos epistemológicos presentes en la educación científica (*campos, tópicos, ideas clave, postulados, escuelas, modelos y episodios*) (figura 3.3).
3. La diferenciación entre los contenidos epistemológicos *relacionados* con una disciplina y *anclados* en una disciplina (sección 4.3).
4. Los seis *campos teóricos estructurantes* de la epistemología (sección 5.3), acompañados de los cuatro marcos teóricos que tomamos para construirlos

(introducción, sección 4.3) y de las cinco ideas que organizaron la construcción (sección 5.1).

5. El *diseño por épocas y campos*, y su correspondiente *matriz*.
6. El modelo generativo *expandido* (sección 8.1), con sus diferentes decursos, y con la participación de la analogía y la metacognición.
7. El modelo “complejo” de ciencia (sección 10.1), y el modelo epistemológico de la didáctica de las ciencias como disciplina generado a partir de él (capítulos 10 y 11).
8. El modelo de los profesores de ciencias como *tecnólogos* y de la clase de ciencias como una aplicación tecnológica de la didáctica de las ciencias (sección 10.4).
9. Los nueve elementos del modelo de ciencia escolar (sección 12.4).
10. La *función modelo teórico* (12.7) y otras aportaciones menores al modelo de ciencia escolar (12.4).
11. Los cuatro *momentos macrocurriculares* inspirados en el modelo generativo (capítulo 13).

#### 14.2.4 *Diseño didáctico*

La revisión bibliográfica y la construcción de marcos conceptuales y metodológicos han generado como consecuencia una serie de herramientas didácticas para la enseñanza de la epistemología. Entre ellas:

1. El desarrollo “pendular” del tópico de la *explicación científica*, en el que se sintetizan varios de nuestro campos (apéndice 2).
2. Las seis *ideas epistemológicas clave* para la formación del profesorado de ciencias (sección 8.2).
3. Las tres actividades didácticas (*Agatha Christie*, *Madame Curie* y *Matías*) para enseñar tópicos epistemológicos (capítulo 9).
4. La actividad para comparar los modelos (implícitos) de didáctica de las ciencias que se sostienen en el mundo anglosajón y el europeo continental.

#### 14.2.5 *Formación del profesorado de ciencias*

Las propuestas didácticas que hemos diseñado se validaron a través de indicios provenientes de nuestra tarea docente. Dicha tarea involucró:

1. La adaptación de nuestra taxonomía para introducir al profesorado de ciencias en la problemática HPS.
2. La adaptación del protocolo NOS para que los profesores de ciencias lleven a cabo un autoanálisis epistemológico.
3. El uso de la matriz de niveles y aspectos, inspirada en los trabajos de Estany y Moulines.
4. La difusión de ejemplos paradigmáticos de enseñanza de la epistemología, acompañados de su correspondiente análisis composicional.

#### 14.3 **Algunos puntos a destacar**

A modo de reflexiones para seguir trabajando, presentamos algunos puntos que han surgido de echar una mirada de conjunto a nuestra tesis:

- \* Intentar hablar de la epistemología desde la didáctica de las ciencias puede parecer un objetivo ambicioso y hasta cierto punto inabarcable. Sin embargo, *si nos restringimos a considerar la epistemología desde la fuerte perspectiva NOS*, este objetivo se torna plausible y deseable. Tal restricción implica concentrarnos en caracterizar las ideas del profesorado de ciencias acerca de la naturaleza de la ciencia y proponer mecanismos para completar y mejorar esas ideas.
- \* Nos apropiamos por tanto del *principio de demarcación* que propone Gruender (1999): nos movemos dentro de una epistemología que tenga valor para la *profesionalización* del profesorado de ciencias.
- \* A lo largo de la tesis hemos hecho recomendaciones y propuestas *genéricas* para la educación epistemológica del profesorado de ciencias, sin distinguir demasiado si se trata de profesorado en formación o en activo. Sin embargo, a la hora de inscribirnos en el debate acerca de qué epistemología enseñar,

hablamos de *futuros* profesores de ciencias. Esta especificación intenta ser coherente con nuestro modelo de profesionalización del profesorado de ciencias. Consideramos que la intervención *normativa*, en la que se selecciona fuertemente la epistemología, debería estar restringida a la formación inicial. La formación continuada supondría una aceptación de la autonomía de los profesores de ciencias, que por tanto estarían capacitados para formarse en *cualquier* epistemología que ellos mismos consideren que puede enriquecer su perfil profesional.

- \* Hemos querido desmarcarnos del uso monopólico de la nueva filosofía de la ciencia y de la postura simplista que considera el constructivismo como única alternativa al positivismo lógico. Proponemos máxima libertad en la elección de los modelos epistemológicos para la formación del profesorado de ciencias, sobre la base de una matriz epistémica *realista* y *racionalista*.
- \* Hemos puesto el *modelo de correspondencia realista* en un lugar protagónico dentro de la epistemología y la didáctica de las ciencias actuales. Esto no significa que desconozcamos las alternativas antirrealistas disponibles, particularmente en la tradición sociologista de la epistemología. De estas alternativas, rescatamos un cierto grado de instrumentalismo para fundamentar el pragmatismo de Giere, pero rechazamos la intrusión del relativismo y el escepticismo en la educación científica.
- \* Nuestra propuesta de los campos teóricos estructurantes de la epistemología debería ser coherente con el modelo cognitivo de ciencias, esto es, constituir un aparato lingüístico que conecta *significativamente* con la realidad de la didáctica de las ciencias. Creemos que hemos proporcionado ciertos elementos empíricos (experiencias de formación, derivaciones, validaciones consecuenciales) para suponer que este es el caso. Deseamos que nuestros campos sean un punto de partida para operar sobre la educación científica.
- \* Los campos estructurantes se han presentado como una iniciativa dirigida en varios frentes: análisis de propuestas de enseñanza de la epistemología, evaluación de experiencias de formación del profesorado de ciencias, diseño de actividades

didácticas originales, regulación de la práctica profesional de los profesores de ciencias.

- \* Un aspecto novedoso que queremos rescatar de nuestra propuesta de los campos es la voluntad de transmitir al profesorado de ciencias una imagen de la epistemología que no traicione su versión académica pura. Esto es un intento de ser coherentes con la propuesta de desarrollo curricular en ciencias a la que adherimos, apoyada en los modelos teóricos irreductibles de las disciplinas.
  
- \* El análisis de las propuestas ajenas que se han realizado desde la epistemología y la didáctica de las ciencias en las líneas de la periodización y de la identificación de conceptos estructurantes, nos ha llevado a diferenciaciones y refinamientos que pueden ser de utilidad en la formación del profesorado de ciencias. Un ejemplo de esto es nuestro cuestionamiento parcial del eje racional/natural de Giere y Loving (sección 5.3).
  
- \* Nuestro trabajo para construir los campos estructurantes nos llevó a identificar tópicos epistemológicos de gran poder agrupador que, consecuentemente, proponemos como prioritarios para la formación del profesorado de ciencias. Entre estos tópicos están la *demarcación*, la *ontología*, la *explicación* y la *analogía*.
  
- \* Nos gustaría invitar a los epistemólogos profesionales a trabajar junto con los didactas de las ciencias en la formación epistemológica del profesorado de ciencias. La participación de estos profesionales debería ser coherente con el modelo cognitivo de ciencia: ellos realizarían una transposición de los modelos teóricos de su propia disciplina guiados por los valores, objetivos y necesidades de la didáctica de las ciencias.
  
- \* Nuestra institución de la didáctica de la epistemología como un campo de investigación legítimo para la didáctica de las ciencias es una idea relativamente novedosa. Además genera la posibilidad de abrir una pregunta similar en la propia epistemología: qué parte de esa disciplina puede tener incidencia en la educación científica.

- \* En la didáctica de las ciencias, ha habido tradicionalmente toda una línea de investigación dedicada al estudio de los contenidos específicos de las ciencias, desde un punto de vista combinado (disciplinar, epistemológico, histórico y psicológico), con el fin de mejorar su implementación curricular. En nuestro trabajo de formación epistemológica del profesorado de ciencias, hemos recuperado tres ejemplos propios de este tipo de investigación, enfocados sobre el péndulo de Foucault, la acústica de la voz humana, y los modelos atómicos.
- \* Nuestro modelo epistemológico de la didáctica de las ciencias afirma la *independencia* de esta disciplina con respecto a la didáctica general y la pedagogía; esta independencia se ha generado históricamente con el fin de superar barreras epistémicas. Nótese que se trata de un modelo explicativo para dar cuenta de las relaciones *funcionales* que actualmente se dan (o no se dan) entre los diversos estudios educacionales; no se trata entonces de un modelo normativo de lo que a nuestro juicio *debería ser*. Interesa, por tanto, rescatar las opiniones al respecto que tienen los profesores de ciencias y los pedagogos, para construir con ellos nuevas formas, más fructíferas, de relación académica y profesional.

#### 14.4 Perspectivas de futuro

Las tres aplicaciones de la tesis han dejado abiertas sendas líneas de trabajo para el futuro inmediato. Los marcos de ideas presentados (el análisis composicional, el modelo de tecnociencia, y la tecnología de desarrollo curricular) apenas están esbozados en esta primera aproximación. Conscientes de que nuestro acercamiento ha sido muy incompleto, hemos comenzado colaboraciones con diversos colegas para expandir las ideas, afinarlas, validarlas y aplicarlas.

Otros puntos hacia los cuales se podría enfocar el trabajo en el futuro son:

- \* Categorizar las relaciones entre la didáctica de las ciencias y la historia de la ciencia.

- \* Trabajar sobre la idea de la identificación de las líneas NOS y CTS como áreas pujantes de la didáctica de las ciencias, con incidencia directa en el desarrollo curricular y en la formación del profesorado de ciencias.
  
- \* Llevar adelante la tarea de transposición didáctica de la epistemología para la educación científica.
  
- \* Utilizar nuestros conceptos de relación y anclaje para generar propuestas de formación epistemológica.
  
- \* Explorar las implicaciones de la idea de considerar a los didactas de las ciencias como “enlace” entre la epistemología y la educación científica, y a los profesores de ciencias como “mediadores” entre la epistemología y la clase de ciencias.

## Bibliografía

---

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

Aballone, R., Abecasis, C., Fernández, P., Gastón, A., Utges, G. y Welti, R. (1993). Transporte y almacenamiento de energía en ondas viajeras y estacionarias. *Memoria de la VIII REF*, 215-223.

Abd-el-Khalick, F. y Lederman, N. (1999). Success of the attempts to improve science teachers' conceptions of nature of science: A review of literature, en Bevilacqua, F. y Giannetto, E. (eds.). *Bicentenary of the invention of the battery*, 52. Pavia/Como: European Physical Society.

Abell, S., Martini, M. y George, M. (1999). "That's what scientists have to do": Preservice elementary teachers' conceptions of the nature of science during a moon study, en Bevilacqua, F. y Giannetto, E. (eds.). *Bicentenary of the invention of the battery*, 52. Pavia/Como: European Physical Society.

Abell, S. y Smith, D. (1994). What is science? Pre-service elementary teachers' conceptions of the nature of science. *International Journal of Science Education*, 16(4), 475-487.

Abimbola, I.O. (1983). The relevance of the "new" philosophy of science for the science curriculum. *School Science and Mathematics*, 83(3), 181-192.

Acero, J.J. (2000). Las relaciones entre lenguaje y pensamiento en el último Wittgenstein, en de Mora, M.S., Ibarra, A., Pérez Sedeño, E. y Sánchez Balmaseda, I. (eds). *Actas del III Congreso de la Sociedad de Lógica, Metodología y Filosofía de la Ciencia en España*, 95-103. Donostia: UPV/EHU.

Achinstein, P. (1968). *Concepts of science. A philosophical analysis*. Baltimore: The Johns Hopkins Press.

Achinstein, P. (1989). *La naturaleza de la explicación*. México: Fondo de Cultura Económica.

Adúriz-Bravo, A. (1993). El método de problemas en la didáctica de las ciencias naturales. Publicación interna. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Adúriz-Bravo, A. (1994). Secuencias de activación de inclusores ausubelianos: Esquema general y aplicación en física. Publicación interna. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Adúriz-Bravo, A. (1995a). *Curso de introducción a la física*. Memoria final para la obtención del título de Profesor de Enseñanza Media y Superior en Física. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Adúriz-Bravo, A. (1995b). Hacia la enseñanza de un “método científico” en las ciencias naturales. Publicación interna. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Adúriz-Bravo, A. (1996a). Ideas acerca de la ciencia en estudiantes de ciencias naturales. Publicación interna. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Adúriz-Bravo, A. (1996b). *Propuestas de intervención docente en situaciones didácticas reales: Integración de marcos teóricos alternativos*. Memoria de oposición al cargo de ayudante de primera de la asignatura Didáctica Especial de las Ciencias Naturales y Práctica de la Enseñanza. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Adúriz-Bravo, A. (1997a). *Aportes de la epistemología e historia de la ciencia a la didáctica especial de las ciencias naturales*. Memoria de oposición al concurso de beca doctoral externa FOMEC-CEFIEC. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Adúriz-Bravo, A. (1997b). *Razonamiento, creación, validez y verdad en las ciencias*. Dossier mimeografiado. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

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

Adúriz-Bravo, A. (1998b). ¿Es posible una teoría de la evaluación formativa? Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Adúriz-Bravo, A. (1998c). *Estatuto epistemológico de la didáctica específica de las ciencias naturales*. Proyecto de investigación. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

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

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

Adúriz-Bravo, A. (1999b). *Elementos de teoría y de campo para la construcción de un análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias*. Tesis de maestría. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Adúriz-Bravo, A. (1999c). *Epistemología y didáctica de las ciencias: Tres propuestas de integración*. Proyecto de tesis doctoral. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

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

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

Adúriz-Bravo, A. (2000a). *Algunas ideas acerca de la ciencia que pueden cambiar nuestra manera de enseñar ciencias*. Dossier mimeografiado. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona. (reimpresiones ampliadas en Buenos Aires, Neuquén y Valladolid)

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

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

Adúriz-Bravo, A. (2000d). Consideraciones acerca del estatuto epistemológico de la didáctica específica de las ciencias naturales. *Revista del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Educación*, 9(17), 49-52.

Adúriz-Bravo, A. (2000e). Elementos de teoría y de campo para la construcción de un análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias. Resumen de la tesis de maestría. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 347.

Adúriz-Bravo, A. (2001a). A proposal to teach the abductive argumentation pattern through detective novels, en Psillos, D. et al. (eds.). *Science education research in the knowledge based society*, Volumen II, 715-717. Salónica: Aristotle University of Thessaloniki.

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

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

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

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

Adúriz-Bravo, A. (2001f). Reseña crítica sobre el libro *La educación de la mente y el conocimiento de las disciplinas*, de Howard Gardner. *Éndoxa*.

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

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

Adúriz-Bravo, A. (en prensa-c). Aprender sobre el pensamiento científico en el aula: Una propuesta para usar novelas policiales. *Alambique*, 30.

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

Adúriz-Bravo, A. (en prensa-e). La didáctica de las ciencias como disciplina. *Enseñanza*.

Adúriz-Bravo, A. (en revisión-a). De cómo los cantantes de ópera se hacen oír por encima de una orquesta sinfónica. Una revisión del concepto de timbre.

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

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

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

Adúriz-Bravo, A. y Bonan, L. (1995). *El péndulo de Foucault. Propuesta de trabajo teórico-práctico*. Dossier mimeografiado. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

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

Adúriz-Bravo, A., Bonan, L., Dibar Ure, C. y Garea, M.T. (2000). Trabajo de aula y trabajo de laboratorio. Propuesta para repensar los planos teórico y práctico a través del péndulo de Foucault. *Revista de Enseñanza de la Física*, 13(1), 5-21.

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*. San Martín: Universidad Nacional de San Martín.

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

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

Adúriz-Bravo, A., Espinet, M., Salazar, I., Badillo, E., Mena, N., Tamayo, O. y Trujillo, J. (2000). Ideas on the nature of science in prospective teachers for early childhood education, en *Resúmenes de la 25ta Reunión Anual de la ATEE*, 77-78. Barcelona: Col·legi Oficial de Doctors i Llicenciats de Catalunya.

Adúriz-Bravo, A. y Galagovsky, L. (1997). Modelos científicos y modelos didácticos en la enseñanza de las ciencias naturales. Parte 1: Consideraciones teóricas, en *Actas de la X Reunión Nacional de Educación en Física*, 1c05. Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata.

Adúriz-Bravo, A., Gómez-Moliné, M. y Sanmartí, N. (2001). Investigaciones sobre el lenguaje científico: Una nueva agenda para la didáctica de las ciencias. *Educación en Ciencias*, 5(10).

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

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2000b). “Structuring” ideas from philosophy of science for physics teacher education, en *Abstracts de la XVIII GIREP International Conference*, 135. Barcelona: PTTIS.

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

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

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

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

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

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2001f). The philosophy of science in prospective science teacher education. Rationale and practical proposals, en *Abstracts for concurrent sessions and presentations in the RDCs of the 26<sup>th</sup> ATEE Annual Conference*, s/pp. Estocolmo: Lärarhögskolan.

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

Adúriz-Bravo, A., Izquierdo, M. y Estany, A. (2001). A characterisation of practical proposals to teach the philosophy of science to prospective science teachers, en Valanides, N. (ed.). *Science and technology education: Preparing future citizens*, Volumen I, 37-47. Paralimni: University of Cyprus.

Adúriz-Bravo, A., Izquierdo, M. y Estany, A. (en prensa). Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación. *Enseñanza de las Ciencias*.

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

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

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

Adúriz-Bravo, A. y Meinardi, E. (2000). Dos debates actuales en la investigación en didáctica de las ciencias experimentales. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 14, 69-85.

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

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

Adúriz-Bravo, A., Morales, L. y Galagovsky, L. (1997). Modelos científicos y modelos didácticos en la enseñanza de las ciencias naturales. Parte 2: Un ejemplo sobre modelos atómicos, en *Actas de la X Reunión Nacional de Educación en Física*, 1c06. Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata.

Adúriz-Bravo, A., Morales, L., Galagovsky, L. y Bonan, L. (1997). Problemas con el concepto de “modelo” en la enseñanza de la física, en *Actas de la 82ª Reunión Nacional de Física de la Asociación Física Argentina*, 2-3. San Luis: AFA.

Adúriz-Bravo, A., Salazar, I., Badillo, E., Mena, N., Tamayo, O., Trujillo, J. y Espinet, M. (en prensa). Ideas on the nature of science in prospective teachers for early childhood education, en *Proceedings de la 25ta Reunión Anual de la ATEE*. Barcelona: Col·legi de Doctors i Llicenciats de Catalunya.

Adúriz-Bravo, A. y Schneider, D. (1997). *Estudio del espectro de Fourier de la voz cantada*. Memoria del trabajo final del Laboratorio 4. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Afonso, A. (2001). Teaching “sound and hearing” to 8th grade students. Trabajo presentado en la *25ta Reunión Anual de la ATEE*, Estocolmo, Suecia.

Aguirre, J., Haggerty, S. y Linder, C. (1990). Student-teachers’ conceptions of science, teaching and learning: A case study in preservice science education. *International Journal of Science Education*, 12(4), 381-390.

Aibar, E. (1997). Filosofía de la ciencia desnaturalizada, en Estany, A. y Quesada, D. (eds.). *Actas del II Congreso de la Sociedad de Lógica, Metodología y Filosofía de la Ciencia en España*, 69-72. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Aikenhead, G. (1991). *Logical reasoning in science and technology*. Toronto: J. Wiley and Sons.

Aikenhead, G. y Ryan, A. (1992). The development of a new instrument: ‘Views on Science-Technology-Society’. *Science Education*, 76(4), 477-491.

*Alambique* (1995). La educación en Ciencia-Tecnología-Sociedad. *Alambique*, 3.

Aliberas, J. (1987). Algunes aportacions de la filosofia de la ciència al progrés de la didàctica de les ciències, en *Actas del II Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas*, 11-12. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

- Aliberas, J. (1989). *Didàctica de les ciències. Perspectives actuals*. Vic: Eumo.
- Aliberas, J. (1994). *L'epistemologia i el professor de ciències*. Dossier mimeografiado. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Aliberas, J., Gutiérrez, R. e Izquierdo, M. (1989). La didàctica de les ciències: Una empresa racional. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(3), 277-284.
- Allchin, D. (1999). Values in science: An educational perspective, en Bevilacqua, F. y Giannetto, E. (eds.). *Bicentenary of the invention of the battery*, 55. Pavia/Como: European Physical Society.
- Almeder, R. (1993). On naturalizing epistemology, en Fetzer, J. (ed.). *Foundations of philosophy of science. Recent developments*. Nueva York: Paragon House.
- Alters, B. (1997). Whose nature of science? *Journal of Research in Science Teaching*, 34(1), 39-55.
- Álvarez-Lires, M. (1999). Gender and science in teaching, teacher training and research, en Bevilacqua, F. y Giannetto, E. (eds.). *Bicentenary of the invention of the battery*, 55. Pavia/Como: European Physical Society.
- Ambrogi, A. (2000). Naturalización, ¿una oportunitada perdida?, en de Mora, M.S., Ibarra, A., Pérez Sedeño, E. y Sánchez Balmaseda, I. (eds). *Actas del III Congreso de la Sociedad de Lógica, Metodología y Filosofía de la Ciencia en España*, 221-226. Donostia: UPV/EHU.
- Andreozzi, M. (1996). El impacto formativo de la práctica. El papel de las “prácticas de formación” en el proceso de socialización profesional. *Revista del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Educación*, 5(9), 20-31.
- Appleton, K. y Asoko, H. (1996). A case study of a teacher's progress toward using a constructivist view of learning to inform teaching in elementary science. *Science Teacher Education*, 80(2), 165-180.

Arlegui de Pablos, J. (1995). La modelización y la simulación de fenómenos físico-naturales. Aproximación didáctica, en AA.VV. *Aspectos didácticos de física y química (Física)*, 6. Zaragoza: ICE de la UZ.

Arrieta Gallástegui, J. (1989). Investigación y docencia en didáctica de las matemáticas: Hacia la constitución de una disciplina. *Studia Paedagogica*, 21, 7-17.

Arsac, G. (1992). L'évolution d'une théorie en didactique: L'exemple de la transposition didactique. *Recherches en Didactiques des Mathématiques*, 12(1), 7-32.

Artigas, M. (1989). *Filosofía de la ciencia experimental*. Pamplona: EUNSA.

Artigue, M. (1990). Épistémologie et didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(2, 3), 241-286.

Astolfi, J.-P. (1993). Trois paradigmes pour les recherches en didactique. *Revue Française de Pédagogie*, 103, 5-18.

Astolfi, J.-P. (1994). Didáctica plural de las ciencias. Análisis contrastado de algunas publicaciones de investigación. *Investigación en la Escuela*, 24, 7-22.

Astolfi, J.-P. (1997). Du "tout" didactique au "plus" didactique. *Revue Française de Pédagogie*, 120, 67-73.

Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y. y Toussaint, J. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences. Repères, définitions, bibliographies*. Bruselas: De Boeck & Larcier.

Astolfi, J.-P. y Develay, M. (1989). *La didactique des sciences*. París: PUF.

Ausubel, D., Novak, J. y Hanesian, H. (1976). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.

Ayer, A. (ed.) (1965). *El positivismo lógico*. México: Fondo de Cultura Económica.

Azcárate, C., Espinet, M., Izquierdo, M. y Sanmartí, N. (1992). El papel de la didáctica de las ciencias experimentales y de la didáctica de la matemática en el curriculum de formación del profesorado, en *Actas del Simposio sobre Pedagogía y Didácticas Específicas*.

Azcárate, C. e Izquierdo, M. (2000). Relació entre la didàctica específica i les altres ciències, en *Jornada de Debat i Reflexió sobre les Didàctiques Específiques*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Aznar García, J. (1983). Una consideración histórico-didáctica de matemática elemental. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(2), 122-124.

Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. París: Vrin.

Baker, G. y Clark, L. (1989). The concept of explanation: Teaching the philosophy of science to science majors, en Herget, D. (ed.). *The history and philosophy of science in science teaching*. Tallahasee: Florida State University.

Barrado, D.A., Facorro, G.B., Piehl, L.L. y Huarte, M. (1998). Cambio del marco epistemológico en una actividad de física, en *Actas de las Jornadas Desarrollos en Docencia Universitaria con Expocátedra*, 27-28. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Barth, M. (1999). Breaking up the vicious circle: Establishing history of science in teacher training, en Bevilacqua, F. y Giannetto, E. (eds.). *Bicentenary of the invention of the battery*, 58. Pavia/Como: European Physical Society.

Bell, R., Abd-el-Khalick, F., Lederman, N., McComas, W. y Matthews, M. (2001). The nature of science and science education: A bibliography. *Science & Education*, 10(1&2), 187-204.

Benedito, V. (1987a). *Aproximación a la didáctica*. Barcelona: Promociones y Publicaciones Universitarias.

Benedito, V. (1987b). *Introducción a la didáctica. Fundamentación teórica y diseño curricular*. Barcelona: Barcanova.

Bereiter, C. (1994). Constructivism, socioculturalism and Popper's world 3. *Educational Researcher*, 23(7), 21-23.

Best, F. (1988). Los avatares de la palabra "pedagogía". *Perspectivas*, XVIII(2), 163-172.

Bianchini, J. y Colburn, A. (2000). Teaching the nature of science through inquiry to prospective elementary teachers: A tale of two researchers. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(2), 177-209.

Bizzo, N. (1993). Historia de la ciencia y enseñanza de la ciencia: ¿Qué paralelismos cabe establecer? *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 18, 5-14.

Black, P. (1998). Formative assessment: From theory to practice?; or, Towards a theory of formative assessment, en *Joint Seminar King's College/Universitat Autònoma*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Bliss, J. (1995). Piaget and after: The case of learning science. *Studies in Science Education*, 25, 139-172.

Bloor, D. (1976). *Knowledge and social imagery*. Londres: Routledge & Kegan Paul.

Boersema, D. (1998). The use of real and imaginary cases in communicating the nature of science: A course outline, en McComas, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*, 255-266. Dordrecht: Kluwer.

Bonan, L. (1999a). *Análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Bonan, L. (1999b). *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.

Bonizzoni, I. y Giuliani, G. (1999). The undulatory versus the corpuscular theory of light: The case of the Doppler effect, en Bevilacqua, F. y Giannetto, E. (eds.). *Bicentenary of the invention of the battery*, 10. Pavia/Como: European Physical Society.

Borsese, A. (2000). Comunicación, lenguaje y enseñanza. *Educación Química*, 11(2), 220-227.

Bowen, B. (1975). The need for paradigms in science education research. *Science Education*, 59(3), 423-430.

Bregazzi, V. (1966). *Didáctica especial*. Buenos Aires: Librería del Colegio. (13<sup>a</sup> edición)

Brickhouse, N. (1989). Teaching of the philosophy of science in secondary classrooms: Case studies of teachers' personal theories. *International Journal of Science Education*, 11(4), 437-449.

Briscoe, C. (1991). The dynamic interactions among beliefs, role metaphors, and teaching practices: A case study of teacher change. *Science Education*, 75(2), 185-199.

Briscoe, C. (1993). Using cognitive referents in making sense of teaching: A chemistry teacher's struggle to change assessment practices. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 971-987.

Bromme, R. (1988). Conocimientos profesionales de los profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(1), 3-29.

Bromme, R. y Tillema, H. (1995). Fusing experience and theory: The structure of professional knowledge. *Learning and Instruction*, 5, 261-267.

Brousseau, G. (1989). La tour de Babel. *Études en Didactique des Mathématiques*, 2. IREM de Bordeaux.

Brush, S. (1974). Should the history of science be rated X? *Science*, 183, 1164-1172.

Brush, S. (1979). Comments on "On the Distortion of the History of Science in Science Education". *Science Education*, 63(2), 277-278.

Brush, S. (1989). History of science and science education. *Interchange*, 20(2), 60-70.

Brush, S. (1991). Historia de la ciencia y enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11&12, 169-180. (versión original en inglés de 1989)

Bunge, M. (1969). *La ciencia, su método y su filosofía*. Buenos Aires: Siglo Veinte.

Bunge, M. (1976). The philosophical richness of technology. *PSA*, 1976 Volumen 2, 153-172.

Bunge, M. (1980). *Epistemología*. Barcelona: Ariel.

Bunge, M. (1983). Metateoría, en AA.VV. *El pensamiento científico. Conceptos, avances, métodos*. Madrid: Tecnos. (edición original en francés de 1978)

Bunge, M. (1985). *Racionalidad y realismo*. Madrid: Alianza.

Bybee, R. (1977). The new transformations of science education. *Science Education*, 61(1), 85-97.

Bybee, R. (1987). Science education and the science-technology-society (S-T-S) theme. *Science Education*, 71(5), 667-683.

Bybee, R. (1990). Teaching history and the nature of science in science courses: A rationale. *Science Education*, 74.

Bybee, R., Powell, J., Ellis, J., Giese, J., Parisi, L. y Singleton, L. (1991). Integrating the history and nature of science and technology in science and social studies curriculum. *Science Education*, 75(1), 143-155.

Caballer, M.J., Carrascosa, J. y Puig, L. (1986). Establecimiento de las líneas de investigación prioritarias en la didáctica de las ciencias y las matemáticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), 136-144.

Camilloni, A. (1994). Epistemología de la didáctica de las ciencias sociales, en Aisenberg, B. y Alderoqui, S. (comps.). *Didáctica de las ciencias sociales. Aportes y reflexiones*. Buenos Aires: Paidós.

Camilloni, A. (1996). De herencias, deudas y legados. Una introducción a las corrientes actuales de la Didáctica, en AA.VV. *Corrientes didácticas contemporáneas*. Buenos Aires: Paidós.

Camilloni, A. (1998). Constructivismo y educación, en Carretero, M., Castorina, J.A. y Baquero, R. (eds.). *Debates constructivistas*. Buenos Aires: Aique.

Campanario, J.M. y Otero, J. (2000). La comprensión de los libros de texto, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.

Campbell, D. (1997). Epistemología evolucionista, en Martínez, S. y Olivé, L. (comps.). *Epistemología evolucionista*. México: Paidós.

Cañal, P. (2000a). El análisis didáctico de la dinámica del aula: tareas, actividades y estrategias de enseñanza, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.

Cañal, P. (2000b). L'educació científica com a activitat de modelització. *Resums de les II Jornades d'Educació per a una Cultura Científica*, 11-12.

Cañón, C. (1993). *La matemática. Creación y descubrimiento*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.

Cappannini, O., Lúquez, V., Menegaz, A., Segovia, R. y Villate, G. (1999). Introducción de conceptos de metodología científica en un curso de física de grado, en *Memoria de la XI Reunión Nacional de Educación en Física*, 193-199. Mendoza: APFA.

Carcavilla, A. (1990). La historia de la ciencia: Una fuente de ideas para la introducción de conceptos en física, en AA.VV. *Aspectos didácticos de Física y Química (Física)*, 4. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.

Carey, S. (1992). The origins and evolution of everyday concepts, en Giere, R. (ed.). *Cognitive models of science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Carey, L.R. y Stauss, A.N. (1970). An analysis of experienced science teachers' understanding of the nature of science. *School Science and Mathematics*, 70, 366-376.

Carr, W. (1988). Towards a critical educational science, en *Actas del Congreso Internacional de Filosofía de la Educación*, Tomo I, 271-281. Madrid.

Carrascosa, J., Fernández Montoro, I., Gil-Pérez, D. y Orozco, A. (1993). Análisis de algunas visiones deformadas sobre la naturaleza de la ciencia y las características del trabajo científico. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra IV Congreso, 47-48.

Carrascosa, J., Gil-Pérez, D. y Martínez-Terrades, S. (1997). La didáctica de las ciencias como campo específico de conocimientos. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra V Congreso, 401-402.

Carretero, M., Castorina, J.A. y Baquero, R. (eds.) (1998). *Debates constructivistas*. Buenos Aires: Aique.

Carretero, M. y Limón, M. (1997). Problemas actuales del constructivismo. De la teoría a la práctica, en Rodrigo, M. y Arnay, J. (comps.). *La construcción del conocimiento escolar*. Barcelona: Paidós.

Castellotti, V. y De Carlo, M. (1995). Didactique des langues: Une discipline à la recherche d'identité. *Les Sciences de l'Éducation*, 5, 5-20.

Castillejo, J.L. (1987). *Pedagogía tecnológica*. Barcelona: CEAC.

Castorina, J.A. (1998). Los problemas conceptuales del constructivismo y sus relaciones con la educación, en Carretero, M., Castorina, J.A. y Baquero, R. (eds.). *Debates constructivistas*. Buenos Aires: Aique.

Castro, L. (1992). El empleo de modelos en la enseñanza de la química. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(1), 73-79.

Cawthron, E. y Rowell, J. (1978). Epistemology and science education. *Studies in Science Education*, 5, 31-59.

Cencerrado Alcañiz, F. (1984). *Introducción a las ciencias de la educación, I*. Cádiz: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz.

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

Chalmers, A. (1992). *La ciencia y cómo se elabora*. México: Siglo XXI. (edición original en inglés de 1990)

Chalmers, A. (1999a). Maxwell, mechanism and the nature of electricity, en Bevilacqua, F. y Giannetto, E. (eds.). *Bicentenary of the invention of the battery*, 12. Pavia/Como: European Physical Society.

Chalmers, A. (1999b). Twenty years on: Adding the cat's whiskers, en Bevilacqua, F. y Giannetto, E. (eds.). *Bicentenary of the invention of the battery*, 64. Pavia/Como: European Physical Society.

Chapman, B. (1994). The overselling of science education in the 1980s, en Levinson, R. (ed.). *Teaching science*, 190-205. Londres: Routledge.

Chevallard, Y. (1997). *La transposición didáctica*. Buenos Aires: Aique. (edición original en francés de 1991)

Chi, M. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science, en Giere, R. (ed.). *Cognitive models of science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Christidou, V. y Koulaidis, V. (2001). Analogies and metaphors as tools for explaining science: Greek physics textbooks for the 8<sup>th</sup> grade, en Valanides, N. (ed.). *Science and technology education: Preparing future citizens*, Volumen II, 134-143. Paralimni: University of Cyprus.

Christie, A. (1978). *Death on the Nile*. Glasgow: Fontana. (edición original de 1937)

Christie, A. (1993). *Poirot en Egipto*. Barcelona: El Molino.

Christie, A. (1996). *Mort al Nil*. Barcelona: Columna/Proa.

Christie, A. (1998). *Der Tod auf dem Nil*. Berna: Scherz.

Clement, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1241-1257.

Cleminson, A. (1990). Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and how children learn science. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5), 429-445.

Clough, M. (1998). Integrating the nature of science with student teaching: Rationales and strategies, en McComas, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*, 197-208. Dordrecht: Kluwer.

Cobb, P. (1994). Where is the mind? Constructivist and sociocultural perspectives on mathematical development. *Educational Researcher*, 23(7), 13-20.

Cobb, P., Wood, T. y Yackel, E. (1991). Analogies from the philosophy and sociology of science for understanding classroom life. *Science Education*, 75(1), 23-44.

Cobern, W. (2000). The nature of science and the role of knowledge and belief. *Science & Education*, 9(2), 219-246.

Cobern, W. y Loving, C. (1998). The card exchange: Introducing the philosophy of science, en McComas, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*, 73-82. Dordrecht: Kluwer.

Coffa, J.A. (1991). *The semantic tradition from Kant to Carnap. To the Vienna station*. Cambridge: Cambridge University Press.

Cohen, B. y Nagel, E. (1983). *Introducción a la lógica y al método científico*. Buenos Aires: Amorrortu. (edición original en inglés de 1966)

Coll, C. (1988). *Conocimiento psicológico y práctica educativa. Introducción a las relaciones entre psicología y educación*. Barcelona: Barcanova.

Coll, C. (1989). *Psicología y curriculum*. Barcelona: Paidós.

Coll, C. (1993). Constructivismo e intervención educativa: ¿Cómo enseñar lo que se ha de construir? *Propuesta Educativa*, 5(8), 48-57.

Conant, A.B. (1951). *On understanding science: An historical approach*. Nueva York: New American Library.

Coret, A. (1999). About the representation in quantum mechanics, en Bevilacqua, F. y Giannetto, E. (eds.). *Bicentenary of the invention of the battery*, 65. Pavia/Como: European Physical Society.

Costa, A. y Domenech, G. (1998). Algunas dificultades en la enseñanza de la mecánica clásica, en *Actas de las Jornadas Desarrollos en Docencia Universitaria con Expocátedra*, 4-5. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Cotham, J.C. y Smith, E.L. (1981). Development and validation of the Conceptions of Scientific Theories test. *Journal of Research in Science Teaching*, 18(5), 387-396.

Cronin-Jones, L. (1991). Science teaching beliefs and their influence on curriculum implementations: Two case studies. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(3), 235-250.

Curie, È. (1960). *La vida heroica de María Curie, descubridora del radio*. Madrid: Espasa-Calpa. (25ª edición) (edición original en francés de 1937)

Dagher, Z. (1994). Does the use of analogies contribute to conceptual change? *Science Education*, 78(6), 601-614.

Dagognet, F. (1969). *Tableaux et langages de la chimie*. París: Éditions du Seuil.

Darós, W. (1987). Diversas bases de una teoría didáctica. *Revista de Ciencias de la Educación*, 130, 215-225.

Davson-Galle, P. (1999). Values, the nature of science and scientists' practice, en Bevilacqua, F. y Giannetto, E. (eds.). *Bicentenary of the invention of the battery*, 68. Pavia/Como: European Physical Society.

Dawkins, K. y Glatthorn, A. (1998). Using historical case studies in biology to explore the nature of science: A professional development program for high school teachers, en

McComas, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*, 163-176. Dordrecht: Kluwer.

de Bartolomeis, F. (1986). *La actividad educativa. Organización, instrumentos, métodos*. Barcelona: Laia. (edición original en italiano de 1983)

de la Fuente, J. (2000a). La construcción conjunta del conocimiento sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje como actividad formativa inicial de primer orden, en del Carmen, Ll. (ed.). *Simposi sobre la formació inicial dels professionals de l'educació*, 97-100. Girona: ICE de la UdG.

de la Fuente, J. (2000b). La vivencia y reflexión sobre diferentes situaciones metodológicas de enseñanza-aprendizaje como estrategia formativa para los alumnos de magisterio, en del Carmen, Ll. (ed.). *Simposi sobre la formació inicial dels professionals de l'educació*, 93-96. Girona: ICE de la UdG.

del Carmen, L. (2000). Los trabajos prácticos, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.

del Pozo Pardo, A. (1982). *La didáctica hoy*. Burgos: Santiago Rodríguez. (4ª edición)

Develay, M. (dir.) (1995). *Savoirs scolaires et didactiques des disciplines: une encyclopédie pour aujourd'hui*. París: ESF.

Dewey, J. (1916). *Democracy and education*. Nueva York: Free Press.

Díaz, E. y Heler, M. (1988). *El conocimiento científico. Hacia una visión crítica de la ciencia*. Buenos Aires: Eudeba.

Dibar Ure, C., Garea, M.T., Bonan, L., Adúriz-Bravo, A. y otros (1995). Trabajo práctico de laboratorio, o cómo abrir las puertas de la facultad, en *Actas de la 80ª Reunión Nacional de Física de la Asociación Física Argentina*, 8. San Carlos de Bariloche: AFA.

Dilthey, W. (1968). *Historia de la pedagogía*. Buenos Aires: Losada. (edición original en alemán de 1934)

Dimitriadis, P., Papatsimpa, L. y Kalkanis, G. (2001). Educating of primary teachers in history, philosophy and methodology of science with a constructivist approach, en Psillos, D. et al. (eds.). *Science education research in the knowledge based society*, 356-358. Salónica: Aristotle University of Thessaloniki.

di Sessa, A. (1983). Phenomenology and the evolution of intuition, en D. Gentner y A. Stevens (eds.). *Mental models*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.

Donovan, S., Bransford, J. y Pellegrino, J. (eds.) (1999). *How people learn: Bridging research and practice*. Washington: National Academy Press.

Driver, R. (1997). The application of science education theories: A reply to Stephen P. Norris and Tone Kvernbekk. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(10), 1007-1018.

Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1989). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata.

Driver, R., Leach, J., Millar, R. y Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Bristol: Open University Press.

Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors. *Science Education*, 75(6), 649-672.

Duit, R., Roth, W.-M., Komorek, M. y Wilbers, J. (1998). Conceptual change cum discourse analysis to understand cognition in a unit on chaotic systems: towards an integrative perspective on learning science. *International Journal of Science Education*, 20(9), 1059-1073.

Dumon, A. (1992). Formar a los estudiantes en el método experimental: ¿utopía o problema superado? *Enseñanza de las Ciencias*, 10(1), 25-31.

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

Duschl, R. (1988). Abandoning the scientific legacy of science education. *Science Education*, 72(1), 51-62.

Duschl, R. (1994). Research on the history and philosophy of science, en Gabel, D. (ed.). *Handbook of research on science teaching and learning*, 443-465. Nueva York: MacMillan.

Duschl, R. (1995). Más allá del conocimiento: Los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 3-14.

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

Duschl, R. (1998). La valoración de argumentaciones y explicaciones: Promover estrategias de retroalimentación. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), 3-20.

Duschl, A. (2000a). Aprender “el que compta” – La part de l’educació científica que falta, en *Resums de les II Jornades d’Educació per a una Cultura Científica*, 31. Barcelona: La Caixa.

Duschl, R. (2000b). Making the nature of science explicit, en Millar, R., Leach, J. y Osborne, J. (eds.). *Improving science education: The contribution of research*, 187-206. Buckingham: Open University Press.

Duschl, R. (2000c). Tracking data in model-based science. Londres: King’s College.

Duschl, R., Deák, G., Ellenbogen, K. y Holton, D. (1999). Developmental and educational perspectives on theory change: To have and hold, or to have and hone? *Science & Education*, 8, 525-541.

Duschl, R. y Ellenbogen, K. (2001). Understanding dialogic argumentation among middle school science students, en Psillos, D. et al. (eds.). *Science Education Research in the Knowledge Based Society*, 163-165. Salónica: Aristotle University of Thessaloniki.

Duschl, R. y Erduran, S. (1996). Modelling the growth of scientific knowledge, en Welford, J., Osborne, J. y Scott, P. (eds.). *Research in science education in Europe. Current issues and themes*. Londres: Falmer.

Duschl, R. y Wright, E. (1989). A case study of high school teachers' decision making models for planning and teaching science. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(6), 467-501.

Echeverría, J. (1995). *Filosofía de la ciencia*. Madrid: Akal.

Echeverría, J. (1999). *Introducción a la metodología de la ciencia. La filosofía de la ciencia en el siglo XX*. Madrid: Cátedra.

Echeverría, J. (2000). Concepción sistémica de la tecnociencia, en de Mora, M.S., Ibarra, A., Pérez Sedeño, E. y Sánchez Balmaseda, I. (eds). *Actas del III Congreso de la Sociedad de Lógica, Metodología y Filosofía de la Ciencia en España*, 389-397. Donostia: UPV/EHU.

Echeverría, J. (2001). Enseñanza de la ciencia y valores, en Perales, F.J. et al. (eds.). *Las didácticas de las áreas curriculares en el siglo XXI*, Volumen I, 50-63. Granada: Grupo Editorial Universitario.

Eder, M.L. (2001a). La enseñanza en la universidad y sus relaciones con la práctica profesional en las ciencias sociales, en Perales, F.J. et al. (eds.). *Las didácticas de las*

*áreas curriculares en el siglo XXI*, Volumen I, 793-804. Granada: Grupo Editorial Universitario.

Eder, M.L. (2001b). Las prácticas de la enseñanza en la universidad: Las ciencias naturales y la construcción del conocimiento. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VI Congreso, 329-330.

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

Eder, M.L. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Aproximación epistemológica a las relaciones entre la didáctica de las ciencias naturales y la didáctica general. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 9, 2-16.

Eflin, J., Glennan, S. y Reisch, G. (1999). The nature of science: A perspective from the philosophy of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 107-116.

Engeström, Y., Miettinen, R. y Punamäki, R.-L. (eds.) (1999). *Perspectives on activity theory*. Cambridge: Cambridge University Press.

Ennis, R. (1979). Research in philosophy of science bearing on science education, en Asquith, P. y Kyburg, H. (eds.). *Current Research in Philosophy of Science*. East Lansing: PSA.

Erduran, S. (1999a). Philosophy of chemistry: An emerging field with implications for chemistry education, en Bevilacqua, F. y Giannetto, E. (eds.). *Bicentenary of the invention of the battery*, 71. Pavia/Como: European Physical Society.

Erduran, S. (1999b). *Supporting growth of scientific knowledge in the classroom: Towards domain-specific teaching and learning of chemical knowledge through modeling*. Tesis doctoral. Nashville: Vanderbilt University.

Erduran, S. (2000). A missing component of the curriculum? *Education in Chemistry*, November 2000, 168.

Erduran, S., Monk, M., Osborne, J. y Simon, S. (2000). Enhancing the quality of argument in school science. *Proceedings of the Annual Conference of BERA*.

Escolano, A. (1978). Las ciencias de la educación. Problemas epistemológicos, en AA.VV. *Epistemología y educación*. Salamanca: Sígueme.

Escudero, J.M. (1981) *Modelos didácticos*. Vilassar de Mar: Oikos-Tau.

Espinet, M. (1999). *Memoria del proyecto docente*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Espinet, M., Adúriz-Bravo, A., Salazar, I., Tamayo, O., Mena, N., Badillo, E. y Trujillo, J. (2000). The ideas of prospective teachers of early childhood education on science and science education, en *Actas de la 10<sup>th</sup> EECERA Conference*, 51-52. Londres: Institute of Education.

Espinet, M., Adúriz-Bravo, A., Tamayo, O., Trujillo, J., Badillo, E., Mena, N. y Salazar, I. (1998a). *Mi imagen sobre la naturaleza de la ciencia. Primera y segunda parte*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Espinet, M., Adúriz-Bravo, A., Tamayo, O., Trujillo, J., Badillo, E., Mena, N. y Salazar, I. (1998b). *Mi imagen sobre la naturaleza de la ciencia. Tercera y cuarta parte*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Espinet, M. y Sanmartí, N. (1998). Teaching and learning science education research: A process of regulation, en *Joint Seminar King's College/Universitat Autònoma*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Espinet, M., Tamayo, O., Badillo, E. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Aportes para el estudio del conocimiento profesional de los maestros de educación infantil sobre la naturaleza,

enseñanza y aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VI Congreso, 465-466.

Estany, A. (1990). *Modelos de cambio científico*. Barcelona: Crítica.

Estany, A. (1993). *Introducción a la filosofía de la ciencia*. Barcelona: Crítica.

Estany, A. (1999). *Vida, muerte y resurrección de la conciencia. Análisis filosófico de las revoluciones científicas en la psicología contemporánea*. Barcelona: Paidós.

Estany, A. (2000). Historia y filosofía de la ciencia: ¿en qué términos establecemos la relación?, en de Mora, M.S., Ibarra, A., Pérez Sedeño, E. y Sánchez Balmaseda, I. (eds). *Actas del III Congreso de la Sociedad de Lógica, Metodología y Filosofía de la Ciencia en España*, 399-407. Donostia: UPV/EHU.

Estany, A. (en prensa). Ventajas epistémicas de la cognición socialmente distribuida. *Philosophy of Science*.

Estany, A. y Casacuberta, D. (2000). *Manual de prácticas de filosofía de la ciencia*. Barcelona: Crítica.

Estany, A. e Izquierdo, M. (1990). La evolución del concepto de afinidad analizada desde el modelo de S. Toulmin. *Llull*, 13, 349-378.

Estany, A. e Izquierdo, M. (en prensa). Didactología: Una ciencia de diseño. *Éndoxa*.

Estebaranz, A. (1994). *Didáctica e innovación curricular*. Sevilla: Publicaciones de la Universidad de Sevilla.

Fensham, P. (1988). Familiar but different: Some dilemmas and new directions in science education, en Fensham, P. (ed.). *Development and dilemmas in science education*. Londres: Falmer.

Fensham, P., Gunstone, R. y White, R. (eds.) (1994). *The content of science*. Londres: Falmer.

Fermoso, P. (1994). *Pedagogía social. Fundamentación científica*. Barcelona: Herder.

Fernández, P., Jardón, A. y Utges, G. (1993). Propagación de pulsos en cuerdas. Una aproximación al modelo espontáneo de los alumnos. *Memoria de la VIII REF*, 309-319.

Fernández González, M. (2000). Fundamentos históricos, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.

Fernández Huerta, J. (1986). Sentido de la didáctica dentro del campo de las ciencias de la educación, en AA.VV. *Introducción a los estudios pedagógicos. Tercera parte: Temas básicos de educación*. Madrid: UNED.

Fernández Huerta, J. (1990). Niveles epistemológicos, epistemagógicos y epistemo-didácticos en las didácticas especiales. *Enseñanza*, 8, 11-29.

Fernández Montoro, I. (2000). *Análisis de las concepciones docentes sobre la actividad científica: Una propuesta de transformación*. Tesis doctoral. Valencia: Universitat de València.

Fernández Montoro, I. y Orozco, A. (1995). *La transformación de las concepciones espontáneas sobre la ciencia*. Tesis de Maestría. Valencia: Universitat de València.

Ferrández Arenaz, A. (1984). La didáctica contemporánea, en Sanvisens, A. (ed.). *Introducción a la Pedagogía*. Barcelona: Barcanova.

Fesquet, A. (1936). Las ciencias naturales en los nuevos programas de enseñanza primaria. *La Obra*, 286, 675-677.

Feyerabend, P. (1975). *Against method*. Londres: Verso.

Flick, L. (1991). Where concepts meet percepts: Stimulating analogical thought in children. *Science Education*, 75(2), 215-230.

Flitner, W. (1972). *Manual de pedagogía general*. Barcelona: Herder. (edición original en alemán de 1950)

Follari, R. (2000). *Epistemología y sociedad*. Rosario: Homo Sapiens.

Foucault, M. (1990). *La arqueología del saber*. México: Siglo XXI. (edición original en francés de 1969)

Fourez, G. (1997). Scientific and technological literacy as a social practice. *Social Studies of Science*, 27, 903-936.

Gaeta, R., Gentile, N., Lucero, S. y Robles, N. (1996). *Modelos de explicación científica. Problemas epistemológicos de las ciencias naturales y sociales*. Buenos Aires: Eudeba.

Gaeta, R. y Robles, N. (1990). *Nociones de epistemología*. Buenos Aires: Eudeba.

Gagliardi, R. (1986). Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 30-36.

Gagliardi, R. (1988). Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 291-295.

Galagovsky, L.R. (1993a). Hacia un mejor aprendizaje. *Claves en psicoanálisis y medicina*, 4, 13-16.

Galagovsky, L. (1993b). *Hacia un nuevo rol docente. Una propuesta diferente para el trabajo en el aula*. Buenos Aires: Troquel.

Galagovsky, L. (1996). *Redes conceptuales. Aprendizaje, comunicación y memoria*. Buenos Aires: Lugar Editorial.

Galagovsky, L. (1997). *El modelo cognitivo interactivo*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Galagovsky, L. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de *modelo didáctico analógico*. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 231-242.

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

Galagovsky, L., Bonan, L. y Adúriz-Bravo, A. (1996). Vaciamiento del discurso escolar. Un análisis desde la observación de prácticas pedagógicas, en *Actas del Congreso Internacional de Educación: "Educación, crisis y utopías"*, separata. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Galagovsky, L., Bonan, L. y Adúriz-Bravo, A. (1998). Problemas con el lenguaje científico en la escuela. Un análisis desde la observación de clases de ciencias naturales. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 315-321.

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: APFA.

Galili, I. y Hazan, A. (1999). Experts' views on using history and philosophy of science in practice of physics instruction, en Bevilacqua, F. y Giannetto, E. (eds.). *Bicentenary of the invention of the battery*, 73. Pavia/Como: European Physical Society.

Gallagher, J. (1987). A summary of research in Science Education - 1985. *Science Education*, 71(3).

Gallagher, J. (1991). Prospective and practising secondary school science teachers' knowledge and beliefs about the philosophy of science. *Science Education*, 75(1), 121-123.

Gallagher, J. y Yager, R. (1980). Perceived problems of science educators for their discipline. *Science Education*, 64(5), 725-728.

Gallego, P. (1999). *El cómic y la imagen de ciencia*. Tesis de maestría. Valencia: Universitat de València.

Gallego, P., Gil-Pérez, D., Carrascosa, J. y Valls, R. (2001). La imagen de la ciencia en el cómic educativo. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VI Congreso, 97-98.

García, J.E. (1988). Fundamentos para la construcción de un modelo sistémico del aula, en Porlán, R., García, J.E. y Cañal, P. (comps.). *Constructivismo y enseñanza de las ciencias*. Sevilla: Díada.

García, J.E. y Merchán, F.J. (1997). El debate de la interdisciplinariedad en la E.S.O.: El referente metadisciplinar en la determinación del conocimiento escolar. *Investigación en la Escuela*, 32, 5-26.

García, P. y Angulo, F. (2001). La interacción social como motor de la metacognición, en Perales, F.J. et al. (eds.). *Las didácticas de las áreas curriculares en el siglo XXI*, Volumen II, 1549-1560. Granada: Grupo Editorial Universitario.

García, P. y Sanmartí, N. (1998). Las bases de orientación: Un instrumento para enseñar a pensar teóricamente en biología. *Alambique*, 16, 8-20.

García Barros, S., Martínez Losada, C., Vega, P. y Mondelo, M. (2000). La formación inicial del profesorado de educación primaria en ciencias experimentales. Una propuesta fundamentada, en del Carmen, Ll. (ed.). *Simposi sobre la formació inicial dels professionals de l'educació*, 229-232. Girona: ICE de la UdG.

García Cruz, C. (1998). De los obstáculos epistemológicos a los conceptos estructurantes: Una aproximación a la enseñanza-aprendizaje de la geología. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 323-330.

García Doncel, M. (1983). De la evolución de las especies a la evolución de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), 54-57.

García Doncel, M. (1992). La historia de las ciencias como herramienta didáctica y como tema de bachillerato, en Roca, A. (comp.). *Actes de les Jornades Història i Filosofia de la Ciència i de la Tècnica a l'Ensenyament Secundari*. Santa Coloma de Gramenet.

García Hoz, V. (1960). *Principios de pedagogía sistemática*. Madrid: Rialp.

García Pérez, F. y García, J.E. (2001). El conocimiento metadisciplinar y las didácticas específicas, en Perales, F.J. et al. (eds.). *Las didácticas de las áreas curriculares en el siglo XXI*. Volumen I, 409-421. Granada: Grupo Editorial Universitario.

Gärdenfors, P. (1988). *Knowledge in flux. Modeling the dynamics of epistemic states*. Cambridge: MIT Press.

Gardner, H. (2000). *La educación de la mente y el conocimiento de las disciplinas*. Barcelona: Paidós.

Gascón, J. (1998a). Evolución de la didáctica de las matemáticas como disciplina científica. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 18(1), 7-34.

Gascón, J. (1998b). *Què es un problema en didàctica de les matemàtiques? El cas de l'àlgebra escolar*. Documento inédito. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Gascón, J. (1998c). *Relaciones entre los problemas docentes y los problemas didácticos*. Documento inédito. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Gelmi, N. (1997). Una mirada sobre la conformación de las universidades medievales. *Resúmenes de las X Jornadas Argentinas de Historia de la Educación*, 11-12.

Gentile, G. (1975). *La Riforma dell'Educazione*. Florencia: Sansoni.

Giannetto, E. (1999). From Ritter to Poincaré: The rise of the electromagnetic conception of nature, en Bevilacqua, F. y Giannetto, E. (eds.). *Bicentenary of the invention of the battery*, 18. Pavia/Como: European Physical Society.

Giere, R. (1976). A dilemma for philosophers of science and technology. *PSA*, 1976 Volume 2, 194-201.

Giere, R. (1985). Philosophy of science naturalized. *Philosophy of Science*, 52, 331-356.

Giere, R. (1986). Cognitive models in the philosophy of science. *PSA 1986*, Volume 2, 319-328.

Giere, R. (1991). *Understanding scientific reasoning*. Nueva York: Holt, Rinehart & Winston. (3ª edición)

Giere, R. (1992a). Cognitive models of science, en Giere, R. (ed.). *Cognitive models of science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

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

Giere, R. (1993). Science and technology studies: Prospects for an enlightened postmodern synthesis. *Science, Technology & Human Values*, 18(1), 102-112.

Giere, R. (1996). The scientist as adult. *Philosophy of Science*, 63(4), 538-541.

Giere, R. (1999a). Del realismo constructivo al realismo perspectivo. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 9-13.

Giere, R. (1999b). Didáctica de la ciencia basada en el agente. Roles para la filosofía de la ciencia y las ciencias cognitivas. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 5-7.

Giere, R. (1999c). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 63-70.

Giere, R. (2001). *Scientific cognition as distributed cognition*. Publicación interna. Minneapolis: University of Minnesota.

Gilbert, J. (1994). Un plan para la investigación en enseñanza de las ciencias en Inglaterra. *Investigación en la Escuela*, 24, 35-47.

Gilbert, J. (1995). Studies and fields: Directions of research in science education. *Studies in Science Education*, 25, 173-197.

Gilbert, J. y Swift, D. (1985). Towards a Lakatosian analysis of the Piagetian and alternative conceptions research programs. *Science Education*, 69(5), 681-696.

Gillies, D. (1993). *Philosophy of science in the twentieth century. Four central themes*. Oxford: Blackwell.

Gil-Pérez, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), 26-33.

Gil-Pérez, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197-212.

Gil-Pérez, D. (1994). Diez años de investigación en didáctica de las ciencias: Realizaciones y perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 154-164.

Gil-Pérez, D. (1996). New trends in science education. *International Journal of Science Education*, 18(8), 889-901.

Gil-Pérez, D. (2001). Constructivism in science education: The need for a clear line of demarcation, en Psillos, D. et al. (eds.). *Science Education Research in the Knowledge Based Society*, 10-12. Salónica: Aristotle University of Thessaloniki.

Gil-Pérez, D., Carrascosa, J., Furió, C. y Martínez-Torregrosa, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori.

Gil-Pérez, D., Carrascosa, J., Dumas-Carré, A., Furió, C., Gallego, R., Gené, A., González, E., Guisasola, J., Martínez-Torregrosa, J., Pessoa de Carvalho, A.M., Salinas, J., Tricárico, H. y Valdés, P. (1999). ¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 503-512.

Gil-Pérez, D., Carrascosa, J., Gallego, P. y Fernández Montoro, I. (2000). Contribución del cómic a la imagen de la ciencia. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 7, 22-35.

Gil-Pérez, D., Carrascosa, J. y Martínez Terrades, S. (2000). Una disciplina emergente y un campo específico de investigación, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, 11-34. Alcoy: Marfil.

Gil-Pérez, D., Carrascosa, J. y Martínez Terrades, S. (2001). Estatus de la didáctica de las ciencias, en Perales, F.J. et al. (eds.). *Las didácticas de las áreas curriculares en el siglo XXI*, Volumen I, 65-81. Granada: Grupo Editorial Universitario.

Gil-Pérez, D. y Payá, J. (1988). Los trabajos prácticos de física y química y la metodología científica. *Revista de Enseñanza de la Física*, 2(2), 73-79.

Giordan, A. (1982). *La enseñanza de las ciencias*. Madrid: Siglo XXI. (edición original en francés de 1978)

Giordan, A. (2000). Les dimensions afectiva, cognitiva i metacognitiva del fet d'aprendre, en *Resums de les II Jornades d'Educació per a una Cultura Científica*, 7. Barcelona: La Caixa.

Glass, G. (1976). Primary, secondary and meta-analysis of research. *Educational Researcher*, 5(10), 3-8.

Glynn, S. (1990). La enseñanza por medio de modelos analógicos, en Denise, K. (comp.). *El texto expositivo*. Buenos Aires: Aique.

Glynn, S. (1995). Conceptual bridges. Using analogies to explain scientific concepts. *The Science Teacher*, 62(9), 25-27.

Godino, J. (1991). Hacia una teoría de la didáctica de la matemática, en Gutiérrez Rodríguez, Á. (ed.). *Matemáticas, cultura y aprendizaje*. Madrid: Síntesis.

Gómez, A. y Sanmartí, N. (2001). Construcción y comunicación de modelos sobre biodiversidad en niños y niñas de nueve años. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VI Congreso, 25-26.

Gómez, G.R. (1980). *Ciencias físico-químicas y su didáctica*. Buenos Aires: Humanitas.

Gómez Moliné, M.R. (2001). Estilos de aprendizaje de los estudiantes para superar obstáculos en la resolución de problemas de química, en Rodríguez Aguirre, G. (ed.). *Resúmenes del II Encuentro de Estudiantes de Doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas*, 15-16. Barcelona: Universitat de Barcelona.

Gómez Moliné, M.R. y Sanmartí, N. (1996). La didáctica de las ciencias: una necesidad. *Educación Química*, 7(3), 156-168.

González, E. (1992). ¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos? *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), 206-211.

González, W. (ed.) (1998). *El pensamiento de L. Laudan. Relaciones entre historia de la ciencia y filosofía de la ciencia*. A Coruña: Universidade da Coruña.

González Gilmas, O. (2000). En las ciencias, los descubrimientos deben considerarse como invenciones, en de Mora, M.S., Ibarra, A., Pérez Sedeño, E. y Sánchez Balmaseda, I. (eds). *Actas del III Congreso de la Sociedad de Lógica, Metodología y Filosofía de la Ciencia en España*, 769-774. Donostia: UPV/EHU.

González Sánchez, M. (1988). El planteamiento teleológico en la acción educativa: Una cuestión de primer orden, en *Actas del Congreso Internacional de Filosofía de la Educación*, Tomo I, 187-192. Madrid.

Gonzalvo, G. (1967). Prólogo, en Holding, D.H. *Fundamentos de didáctica*. Madrid: Morata.

Good, R., Herron, D., Lawson, A. y Renner, J. (1985). The domain of science education. *Science Education*, 69(2), 139-141.

Good, R., Renner, J., Lawson, A. y Herron, D. (1985). Two views on science education. *Journal of College Science Teaching*, 14(3), 155.

Good, R. y Shymansky, J. (2001). Nature-of-science literacy in benchmarks and standards: Post-modern/relativist or modern/realist? *Science & Education*, 10(1&2), 173-185.

Gooding, D. (1992). The procedural turn; or, Why do thought experiments work?, en Giere, R. (ed.). *Cognitive models of science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Götschl, L. (1990). Philosophical and scientific conceptions of nature and the place of responsibility. *International Journal of Science Education*, 12(3), 288-296.

Greca, I. y Moreira, M.A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 289-303.

Groisman, A., Shapiro, B. y Willinsky, J. (1991). The potential of semiotics to inform understanding of events in science education. *International Journal of Science Education*, 13(3), 217-226.

Gross, A. (1990). *The rhetoric of science*. Cambridge: Harvard University Press.

Guibourg, R., Ghigliani, A. y Guarinoni, R. (1998). *Introducción al conocimiento científico*. Buenos Aires: Eudeba. (edición original de 1985)

Guilbert, L. y Meloche, D. (1993). L'idée de science chez les enseignants en formation: un lieu entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions? *Didaskalia*, 2, 7-30.

Gunstone, R. y White, R. (2000). Goals, methods and achievements of research in science education, en Millar, R., Leach, J. y Osborne, J. (eds.). *Improving science education. The contribution of research*, 293-307. Buckingham: Open University Press.

Guo, C.-J. y Hsu, M.-L. (1999). Science teachers' views on philosophy of science, en Bevilacqua, F. y Giannetto, E. (eds.). *Bicentenary of the invention of the battery*, 78. Pavia/Como: European Physical Society.

Gustafson, B. y Rowell, P. (1995). Elementary science teachers: Constructing conceptions about learning science, teaching science and the nature of science. *International Journal of Science Education*, 17(5), 589-605.

Gutiérrez, R. (1985). La investigación didáctica en el área de ciencias: ¿Nueva crisis de paradigmas? *Enseñanza de las Ciencias*, número extra I Congreso, 5.

Gutiérrez, R. (1987). La investigación en didáctica de las ciencias: Elementos para su comprensión. *Bordón*, 268, 340-362.

Gutiérrez, R. (1999). La causalidad en los razonamientos espontáneos. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 31-61.

Gruender, D. (1999). A new principle of demarcation: A modest proposal for science and science education, en Bevilacqua, F. y Giannetto, E. (eds.). *Bicentenary of the invention of the battery*, 78. Pavia/Como: European Physical Society.

Gwimbi, E. (2000). *Relationship between science teachers' philosophies of science and their classroom practices: A pilot survey*. Tesis de upgrading. Londres: King's College.

Hacker, R. (1984). A typology of approaches to science teaching in schools. *European Journal of Science Education*, 6(2), 153-167.

Hacker, R. (1985). A study of teaching and learning processes in integrated classrooms. *European Journal of Science Education*, 7(2), 173-180.

Hacking, I. (1983). *Representing and intervening*. Cambridge: Cambridge University Press.

Haidar, A. (1999). Emirates pre-service and in-service teachers' views about the nature of science. *International Journal of Science Education*, 21(8), 807-822.

Halliday, M. (1993). On the language of physical science, en Halliday, M. y Martin, J. (1993). *Writing science: Literacy and discursive power*. Londres: Falmer.

Halliday, M. y Martin, J. (1993). *Writing science: Literacy and discursive power*. Londres: Falmer.

Hamilton, D. (1999). La paradoja pedagógica (O: ¿Por qué no hay una didáctica en Inglaterra?). *Propuesta Educativa*, 20, 6-13.

Hammerich, P. (1998). Confronting students' conceptions of the nature of science with cooperative controversy, en McComas, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*, 127-136. Dordrecht: Kluwer.

Hannaway, O. (1975). *The chemists and the word: The didactic origins of chemistry*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.

- Hanson, N. (1958). The logic of discovery. *Journal of Philosophy*, 55(25), 1073-1089.
- Hanson, N. (1971). *Observation and explanation. A guide to philosophy of science*. Londres: Allen & Unwin.
- Harré, R. (1985). *The philosophies of science. An introductory survey*. Oxford: Oxford University Press. (2ª edición ampliada)
- Harrison, A. y Treagust, D. (1994). Analogies. Avoid misconceptions with this systematic approach. *The Science Teacher*, 61(4), 41-43.
- Harrison, A. y Treagust, D. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Hawkins, D. (1994). Constructivism: Some history, en Fensham, P., Gunstone, R. y White, R. (eds.). *The content of science*. Londres: Falmer.
- Hedges, L. (1992). Meta-analysis. *Journal of Educational Statistics*, 17(4), 279-296.
- Hempel, C. (1973). *Filosofía de la ciencia natural*. Madrid: Alianza. (edición original en inglés de 1966)
- Hempel, C. (1979). *La explicación científica. Estudios sobre filosofía de la ciencia*. Buenos Aires: Paidós. (edición original en inglés de 1965)
- Hempel, C. (1988). *Fundamentos de la formación de conceptos en ciencia empírica*. Madrid: Alianza. (edición original en inglés de 1952)
- Hernández González, M. y Prieto, J.L. (2000). Un currículo para el estudio de la historia de la ciencia en secundaria (la experiencia del Seminario Orotava de Historia de la Ciencia). *Enseñanza de las Ciencias*, 18(1), 105-112.

Herron, D. (1969). Nature of science: Panacea or Pandora's box? *Journal of Research in Science Teaching*, 16(1), 105-107.

Hesse, M. (1966). *Models and analogies in science*. Notre Dame: University of Notre Dame Press.

Hewson, P. y Hewson, M. (1987). Science teachers' conceptions of teaching: Implications for teacher education. *International Journal of Science Education*, 9(4), 425-440.

Hewson, P. y Hewson, M. (1989). Analysis and use of a task for identifying conceptions of teaching science. *Journal of Education for Teaching*, 15, 191-209.

Hodson, D. (1986). Philosophy of science and the science curriculum. *Journal of Philosophy of Education*, 20, 241-251.

Hodson, D. (1988). Toward a philosophically more valid science curriculum. *Science Education*, 72(1), 19-40.

Hodson, D. (1992). Assessment of practical work. Some considerations in philosophy of science. *Science & Education*, 1(1), 115-144.

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

Hodson, D. (1994a). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 299-313.

Hodson, D. (1994b). Redefining and reorienting practical work in school science, en Levinson, R. (ed.). *Teaching science*, 159-163. Londres: Routledge.

Hodson, D. (1998). *Teaching and learning science. Towards a personalized approach*. Buckingham: Open University Press.

Hodson, D. y Prophet, R. (1994). Why the science curriculum changes: Evolution or social control?, en Levinson, R. (ed.). *Teaching science*, 22-38. Londres: Routledge.

Hofstein, A. (2001). Why action research?, en Valanides, N. (ed.). *Science and technology education: Preparing future citizens*, Volumen II, 3-15. Paralimni: University of Cyprus.

Hofstein, A. y Yager, R. (1982). Societal issues as organizers for science education in the 80s. *School Science and Mathematics*, 82(7), 539-547.

Hubert, R. (1946). *Traité de pédagogie générale*. París: Presses Universitaires de France.

Hübner, K. (1981). *Crítica de la razón científica*. Barcelona: Alfa.

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

Hugo, D. y Rassetto, M. (1992). La historia y la epistemología de las ciencias en la enseñanza de las mismas. *Cuadernos Universitarios*, 7. Universidad Nacional del Comahue.

Hurd, P. (1991). Issues in linking research to science teaching. *Science Education*, 75(6), 723-732.

*Infancia y Aprendizaje* (1994). Las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria obligatoria, ¿un área común o varias disciplinas distintas? (Debate). *Infancia y Aprendizaje*, 65.

Ingham, A. (1991). The use of analogue models by students of chemistry at higher education level. *International Journal of Science Education*, 13(2), 193-202.

Inhelder, B. y Piaget, J. (1972). *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Buenos Aires: Paidós.

Irwin, A. (2000). Historical case studies: Teaching the nature of science in context. *Science Education*, 84(1), 5-26.

Izquierdo, M. (1990a). Bases epistemològiques del currículum de ciències. *Educar*, 17, 69-90.

Izquierdo, M. (1990b). *Memoria del proyecto docente e investigador*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Izquierdo, M. (1992). Reconsidering the science curriculum starting from contemporary (converging) models of science and cognition. A research program, en *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International History, Philosophy and Science Teaching Conference*. Kingston.

Izquierdo, M. (1994a). Las Ciencias de la Naturaleza en la E.S.O., ¿un área común o disciplinas distintas? *Infancia y Aprendizaje*, 63, 31-34.

Izquierdo, M. (1994b). *Modelos cognitivos de ciencia y enseñanza de las ciencias. Historia de las ciencias y curriculum*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Izquierdo, M. (1995a). Cognitive models of science and the teaching of science, history of sciences and curriculum, en Psillos, D. (ed.). *European Research in Science Education. Proceedings of the Second Ph.D. Summer School*, 106-117. Salónica: Art of Text.

Izquierdo, M. (1995b). Epistemological foundations of science education. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Izquierdo, M. (1996a). Narrating experiments for school science, en *Actas de la 3<sup>rd</sup> European Summerschool of ESERA*, 24-33. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.

Izquierdo, M. (1996b). Relación entre la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 8, 7-21.

Izquierdo, M. (1998a). *Bases epistemològiques de la didáctica de les ciències*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Izquierdo, M. (1998b). *Discusión entre dos médicos (siglo XVII, en París)*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Izquierdo, M. (1998c). Relacions entre la història de les ciències i la didàctica de les ciències. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

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

Izquierdo, M. (1999b). *Memoria de acceso a la plaza de catedrática*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Izquierdo, M. (2000a). Fundamentos epistemológicos, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, 35-64. Alcoy: Marfil.

Izquierdo, M. (2000b). La interpretación de los textos en la clase de ciencias, en *Jornadas de la Red Temática "Coneixament, llenguatge i discurs especialitzat"*. Valencia: Universitat de València.

Izquierdo, M. (2000c). Three rhetorical constructions of the chemistry of water, en Lundgren, A. y Bensaude-Vincent, B. (eds.). *Communicating chemistry. Textbooks and their audiences, 1789-1939*. Canton: Science History Publications.

Izquierdo, M. (2001). Hacia una teoría de los contenidos escolares. Conferencia en el *VI Congreso Internacional*, Barcelona, España.

Izquierdo, M. (en prensa-a). Estructuras retóricas en los libros de ciencias. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Izquierdo, M. (en prensa-b). Hablar y escribir para aprender. *Actas de los XIX Encuentros de Didáctica de las Ciencias*.

Izquierdo, M. (en preparación). *Didáctica del cambio químico*.

Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Contributions of the cognitive model of science to didactics of science. Resumen aceptado para la *6th International History, Philosophy and Science Teaching Conference*, Denver, Estados Unidos.

Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A. (en prensa). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*.

Izquierdo, M., Cabello, M. y Solsona, N. (1992). Un projecte de ciències: “Ciències 12-16”, en *Actes del 3er Simposi sobre l’Ensenyament de les Ciències Naturals*, 595-603. Vic: Eumo.

Izquierdo, M., Espinet, M., García, M.P., Pujol, R.M. y Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 79-91.

Izquierdo, M. y Márquez, C. (1993). The use of theoretical models in science teaching. The paradigmatic fact, en *Third International Seminar “Misconceptions and Science Education”*. Ithaca: Cornell University.

Izquierdo, M. y Rivera, L. (1997). La estructura y la comprensión de los textos de ciencias. *Alambique*, 11, 24-34.

Izquierdo, M. y Sanmartí, N. (1998). Ensenyar a llegir i a escriure textos de ciències de la naturalesa, en Jorba, J., Gómez, I. y Prat, À. (comps.). *Parlar i escriure per aprendre. Ús de la llengua en situació d’ensenyament-aprenentatge de les àrees curriculars*. Bellaterra: ICE de la UAB.

Izquierdo, M. y Sanmartí, N. (1999). How to write about experiments. Writing to be able to act, en *Actas de la 2ª Reunión de la ESERA*. Kiel: IPN.

Izquierdo, M., Sanmartí, N. y Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 45-59.

Izquierdo, M., Sanmartí, N., García, P. y Espinet, M. (2000). Applications of a model shift of scientific knowledge: From the metaphor of the 'book' to the metaphor of 'discourse'. *Resúmenes de la 25ª Reunión Anual de la ATEE*, 50.

Izquierdo, M., Solsona, N. y Estanya, J.Ll. (1995). The teaching of scientific concepts starting from school experiments. Relation between the history of science and DC, en *Actas de la Reunión de la ESERA*. Leeds.

Jansen, F. y Voogt, P. (1998). Learning by designing: A case of heuristic theory development in science teaching, en McComas, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*, 151-162. Dordrecht: Kluwer.

Jiménez, J.D. (2000). El análisis de los libros de texto, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.

Jiménez Aleixandre, M.P. (1988). Enseñanza de las ciencias. *Cuadernos de Pedagogía*, 155, 8-10.

Jiménez Aleixandre, M.P. (1995). Comparando teorías: La reflexión sobre la naturaleza de la ciencia en la formación del profesorado, en Blanco, L. y Mellado, V. (coords.). *La formación del profesorado de ciencias y matemáticas en España y Portugal*, 267-272. Badajoz: Diputación Provincial.

Jiménez Aleixandre, M.P. (1997). Introducción a la edición española, en Duschl, R. *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*, 9-10. Madrid: Narcea.

Jiménez Aleixandre, M.P. (1998). Diseño curricular: Indagación y razonamiento con el lenguaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 203-216.

Jiménez Aleixandre, M.P. (2000). Modelos didácticos, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.

Jiménez Aleixandre, M.P. y Sanmartí, N. (1995). The development of a new science curriculum for secondary school in Spain: Opportunities for change. *International Journal of Science Education*, 17(4), 425-439.

Jiménez Aleixandre, M.P. y Sanmartí, N. (1997). ¿Qué ciencia enseñar?: Objetivos y contenidos en la educación secundaria, en del Carmen, Ll. (coord.). *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*, 17-45. Barcelona: Horsori.

Jiménez López, M.A. y Prieto, T. (1997). La investigación en los departamentos/áreas de didáctica de las ciencias experimentales: programas de doctorado y líneas de investigación, en Jiménez Pérez, R. y Wamba Aguado, A.M<sup>a</sup>. (eds.). *Avances en la Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Universidad de Huelva.

Joshua, S. (1986). La “desintetización” de los modelos físicos: Una limitación y una posibilidad de elección. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), 145-152.

Joshua, S. y Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. París: Presses Universitaires de France.

Jung, W. (1993). Uses of cognitive science to science education. *Science & Education*, 2(1), 31-56.

Justi, R. y Gilbert, J. (2000). History and philosophy of science through models: some challenges in the case of ‘the atom’. *International Journal of Science Education*, 22(9), 993-1009.

Kelly, G. (1997). Research traditions in comparative context: A philosophical challenge to radical constructivism. *Science Education*, 81(3), 355-375.

Kelly, G. y Chen, C. (1999). The sound of music: Constructing science as sociocultural practices through oral and written discourse. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(8).

Kelly, G., Chen, C. y Prothero, W. (2000). The epistemological framing of a discipline: Writing science in university oceanography. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(7), 691-718.

Kelly, G., Crawford, T. y Brown, C. (en prensa). Experiments, contingencies, and curriculum: Providing opportunities for learning through improvisation in science teaching. *Science Education*.

Kichawen, P. (2001). Exploring the tension between the context of discovery and the context of justification in undergraduate science education at the University of Papua New Guinea. Londres: King's College.

Kipnis, N. (1998). A history of science approach to the nature of science: Learning science by rediscovering it, en McComas, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*, 177-196. Dordrecht: Kluwer.

Kitcher, P. (1993). *The advancement of science*. Oxford: Oxford University Press.

Klein, M. (1972). Use and abuse of historical teaching in physics, en Brush, S. y King, A. (eds.). *History in the teaching of physics*. Hanover: University Press of New England.

Klimovsky, G. (1990). Estructura y validez de las teorías científicas, en Gaeta, R. y Robles, N. (comps.). *Nociones de epistemología*. Buenos Aires: Eudeba.

Klimovsky, G. (1994). *Las desventuras del conocimiento científico. Una introducción a la epistemología*. Buenos Aires: AZ Editora.

Klopfer, L. (1983). Research and the crisis in science education. *Science Education*, 67(3), 283-284.

Koertge, N. (1990). *Curs de filosofia de la ciència*. Barcelona: Edicions de la Magrana. (original en inglés de 1989)

Koertge, N. (1998). Postmodernisms and the problem of scientific literacy, en Koertge, N. (ed.). *A house built on sand. Exposing postmodernist myths about science*, 257-271. Nueva York: Oxford University Press.

Koestler, A. (1964). *The act of creation*. Londres: Hutchinson.

Kolstø, S. (2000). Consensus projects: Teaching science for citizenship. *International Journal of Science Education*, 22(6), 645-664.

Kolstø, S. (en prensa-a). Scientific literacy for citizenship: Tools for dealing with the science dimension of controversial socio-scientific issues. *Science Education*.

Kolstø, S. (en prensa-b). Students' decision-making models on a controversial socio-scientific issue: The relevance of different kinds of knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*.

Koulaidis, V. y Ogborn, J. (1989). Philosophy of science: An empirical study of teachers' views. *International Journal of Science Education*, 11(2), 173-184.

Koulaidis, V. y Ogborn, J. (1995). Science teachers' philosophical assumptions: How well do we understand them? *International Journal of Science Education*, 17, 273-283.

Kragh, H. (1997). J.J. Thomson, the electron, and atomic architecture. *The Physics Teacher*, 35, 328-332.

Kromhout, R. y Good, R. (1983). Beware of societal issues as organizers for science education. *School Science and Mathematics*, 83(8), 647-650.

Ksoll, P. y Vögtle, F. (1991). *Marie Curie*. Barcelona: Edicions 62.

Kuhn, D. (1993). Science as argument: Implications for teaching and learning scientific thinking. *Science Education*, 77(3), 319-337.

Kuhn, T. (1962). Historical structure of scientific discoveries. *Science*, 136(6), 760-764.

Kuhn, T. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica. (edición original en inglés de 1962)

Kukla, A. (1994). Scientific realism, scientific practice, and the natural ontological attitude. *British Journal of the Philosophy of Science*, 45, 955-975.

Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes, en Lakatos, I. y Musgrave, A. (eds.). *Criticism and the growth of knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press.

Lakatos, I. (ed.) (1971). *Philosophical papers*. Cambridge: Cambridge University Press.

Lakatos, I. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza. (edición original en inglés de 1976)

Lakatos, I. (1987). *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*. Madrid: Tecnos. (edición original en inglés de 1971)

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

Lamb, W. (1976). Multiple paradigms and the infancy of science educational research. *Science Education*, 60(3), 413-416.

Langley, D. y Eylon, B. (2000). Collaboration between teachers and researchers: Recognizing the opportunity for teacher development. *Abstracts de la XVIII Reunión Internacional de la GIREP*, 20.

Lantz, O. y Kass, H. (1987). Chemistry teachers' functional paradigms. *Science Education*, 71(1), 117-134.

Laudan, L. (1978). *Progress and its problems*. Berkeley: University of California Press.

Laudan, L. (1998). Naturalismo normativo y el progreso de la filosofía, en González, W. (ed.). *El pensamiento de L. Laudan. Relaciones entre historia de la ciencia y filosofía de la ciencia*, 105-116. A Coruña: Universidade da Coruña.

Lauwerys, J.A. y Cowen, R. (1981). Aspectos teóricos, en AA.VV. *Finalidades de la educación*. París: UNESCO.

Leach, J. (1996). Students' understanding of the nature of science, en Welford, G., Osborne, J. y Scott, P. (eds.). *Research in science education in Europe: Current issues and themes*. Londres: Falmer.

Leach, J. (2001). Epistemological perspectives in science education research, en Psillos, D. et al. (eds.). *Science Education Research in the Knowledge Based Society*, 13-15. Salónica: Aristotle University of Thessaloniki.

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

Lederman, N. (1995). The influence of teachers' conceptions of the nature of science on classroom practice: A story of five teachers, en *Proceedings of the Third International History, Philosophy and Science Teaching Conference*, 656-663. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Lederman, N. y Abd-el-Khalick, F. (1998). Avoiding de-natured science: Activities that promote understandings of the nature of science, en McComas, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*, 83-126. Dordrecht: Kluwer.

Lederman, N. y Gess-Newsome, J. (1991). Metamorphosis, adaptation or evolution?: Preservice science teachers' concerns and perceptions of teaching and planning. *Science Education*, 75(4), 443-456.

Lederman, N., Wade, P. y Bell, R. (1998). Assessing understanding of the nature of science: A historical perspective, en McComas, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*, 331-350. Dordrecht: Kluwer.

Lederman, N. y Zeidler, D. (1987). Science teachers' conceptions of the nature of science: Do they really influence teaching behavior? *Science Education*, 71(5), 721-734.

Lemberger, J., Hewson, P. y Park, H.-J. (1999). Relationships between prospective secondary teachers' classroom practice and their conceptions of biology and of teaching of science. *Science Education*, 83(3), 347-371.

Lemke, J. (1997). *Aprender a hablar ciencia*. Barcelona: Paidós. (edición original en inglés de 1993)

León, P. (2001). Análisis del discurso didáctico en una clase de física universitaria, en Rodríguez Aguirre, G. (ed.). *Resúmenes del II Encuentro de Estudiantes de Doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas*, 17-18. Barcelona: UB.

Levinson, R. (ed.) (1994). *Teaching science*. Londres: Routledge.

Lijnse, P. (2000). Didactics of science: The forgotten dimension in science education research?, en Millar, R., Leach, J. y Osborne, J. (eds.). *Improving science education. The contribution of research*, 308-326. Buckingham: Open University Press.

Linares, R. (2001). *De Aristóteles a hoy: presten atención que ahí voy*. Universitat Autònoma de Barcelona.

Linn, M. (1986). Science, en Dillon, R. y Sternberg, R. (eds.). *Cognition and instruction*. Orlando: Academic Press.

Linn, M. (2000). Designing the knowledge integration environment: The partnership enquiry process. *International Journal of Science Education*, 22(8), 781-796.

Linn, M. y Slotta, J. (2000). WISE science. *Educational Leadership*, octubre 2000, 29-32.

Litwin, E. (1997). *Las configuraciones didácticas. Una nueva agenda para la enseñanza superior*. Buenos Aires: Paidós.

Litwin, E. (1998). La investigación didáctica en un debate contemporáneo, en Carretero, M., Castorina, J.A. y Baquero, R. (eds.). *Debates constructivistas*. Buenos Aires: Aique.

Lombardi, O. (1997). La pertinencia de la historia en la enseñanza de ciencias: Argumentos y contraargumentos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(3), 343-349.

López Calafi, J., Salvador, A. y de la Guarda, M. (1998). Estudio bibliométrico de la evolución de la revista *Enseñanza de las Ciencias* a partir de sus fuentes de información. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 485-498.

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

López Rupérez, F. (1995). Una nueva fuente de inspiración para la educación científica. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), 259-265.

Losee, J. (1997). *Introducción histórica a la filosofía de la ciencia*. Madrid: Alianza. (edición original en inglés de 1972)

Loving, C. (1997). From the summit of truth to its slippery slopes: Science education's journey through positivist-postmodern territory. *American Educational Research Journal*, 34(3), 421-452.

Loving, C. (1998). Nature of science activities using the scientific profile: From the Hawking-Gould dichotomy to a philosophy checklist, en McComas, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*, 137-150. Dordrecht: Kluwer.

Loving, C. y Cobern, W. (2000). Invoking Thomas Kuhn: What citation analysis reveals about science education. *Science & Education*, 9(1&2), 187-206.

Lyotard, J.F. (1985). *La condición postmoderna*. Madrid: Cátedra. (edición original en francés de 1979)

Machamer, P. (1998). Philosophy of science: An overview for educators. *Science & Education*, 7(1), 1-11.

Maggio, M. (1995). El tratamiento de los contenidos en las configuraciones didácticas de la buena enseñanza: La incidencia del campo disciplinar, en *Publicaciones del Primer Encuentro Nacional "La Universidad como Objeto de Investigación"*, 5.3b/543. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Manassero, M.A. y Vázquez, Á. (2001). Actitudes de estudiantes y profesorado sobre las características de los científicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 255-268.

Manganiello, E. (1980). *Introducción a las ciencias de la educación*. Buenos Aires: Librería del Colegio.

Manganiello, M.M. (1998). Una propuesta integradora. *Actas de las Jornadas Desarrollos en Docencia Universitaria con Expocátedra*, pp. 39-40.

Marco-Stiefel, B. (2000). La alfabetización científica, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.

Mardones, J.M. (ed.) (1991). *Filosofía de las ciencias humanas y sociales*. Barcelona: Anthropos.

Marín, N. (1997). *Fundamentos de didáctica de las ciencias experimentales*. Almería: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería.

Marín, N. (1999). Del cambio conceptual a la adquisición de conocimientos: Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual de J.M. Oliva. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 109-114.

Marini, T. (1993/4). Um novo professor na prática pedagógica da Universidade. *Didática*, 29, 13-21.

Márquez, C., Espinet, M. e Izquierdo, M. (2001). El discurso del profesor en la modelización del ciclo del agua en la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VI Congreso, 157-158.

Martí, J. (1999). *La craneometria al llarg del segle XIX. Un exemple de la relació entre ciència i valors socials*. Universitat Autònoma de Barcelona.

Martín Quero, J. y Solbes, J. (2001). Algunas cuestiones sobre la enseñanza del concepto de campo y la formación del profesorado. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VI Congreso, 395-396.

Martinand, J.-L. (1983). État de la recherche française en didactique des sciences physiques, en Giordan, A. y Martinand, J.L. (eds.). *Quels types de recherche pour rénover l'éducation en sciences expérimentales?* Chamonix.

Martinand, J.-L. (1986). Enseñanza y aprendizaje de la modelización. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 45-50.

Martinand, J.-L. (1987). Quelques remarques sur les didactiques des disciplines. *Les Sciences de l'Éducation*, 1&2, 23-36.

Martinand, J.-L. (1989). Pratiques de référence, transposition didactique et savoirs professionnels en sciences et techniques. *Les Sciences de l'Éducation pour l'Ère Nouvelle*, 2/1989, 23-29.

Martinand, J.-L. (1993). Histoire et didactique de la physique et de la chimie: Quelles relations? *Didaskalia*, 2, 89-99.

Martinand, J.-L. (1994). La didáctica de las ciencias y la tecnología y la formación de profesores. *Investigación en la Escuela*, 24, 59-69. (versión original en francés)

Martínez, A. (1995). Constructivismo, ¿una vuelta a los principios filosóficos del positivismo? *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 28, 5-13.

Martínez, J.M., Pérez, B., Camino, N., Hamity, H. y Piedrabuena, J. (2001). Espacio-tiempo, materia, simetría e interacciones. Ingredientes básicos para el aprendizaje contemporáneo de la física. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VI Congreso, 43-44.

Martínez, S. y Olivé, L. (comps.) (1997). *Epistemología evolucionista*. México: Paidós.

Martínez Terrades, S. (1998). La didáctica de las ciencias como campo específico de conocimientos. Génesis, estado actual y perspectivas. Resumen de la tesis doctoral. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 517-518.

Martínez Terrades, S., Gil-Pérez, D. y Carrascosa, J. (2001). Los *handbooks* en didáctica de las ciencias: Un indicador de su consolidación como dominio científico específico, en *Actas del VI Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias*, 437-438. Barcelona: UAB y UV.

Martins, I. (2000a). Retòrica i educació científica. *Resums de les II Jornades d'Educació per a una Cultura Científica*, 27-28.

Martins, I. (2000b). Rhetorics of school science textbooks. *Proceedings of the VII International Conference on Physics Education*.

Martins, I. (2001). Data as dialogue: From classroom talk to school science discourse. *III ESERA Conference*.

Martins, I. y Villani, E. (2000). Onda ou partícula: Argumentação e retórica na aprendizagem da natureza da luz. *Atas do VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*.

Massa, M.R., Comas, J., Granados, J. (1996). *Ciència, filosofia i societat en René Descartes*. Barcelona: Institut de Batxillerat Carles Riba.

Mata, A. y Anta, C. (1985). Evolución y nuevas tendencias en los trabajos sobre didáctica de las ciencias experimentales. Revisión del año 1984. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), 167-172.

Mata, A. y Anta, C. (1986). Las orientaciones actuales de la didáctica de las ciencias experimentales en España (1985). *Enseñanza de las Ciencias*, 4(3), 233-246.

Mata, A. y Méndez, A. (1985). La renovación didáctica en las ciencias experimentales. Estudio bibliométrico. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(1), 3-10.

Matson, J. y Parsons, S. (1998). The nature of science: Achieving science literacy by doing science, en McComas, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*, 223-230. Dordrecht: Kluwer.

Matthews, M. (1989). History, philosophy and science teaching: A bibliography. *Synthèse*, 80, 185-196.

Matthews, M. (1990). History, philosophy and science teaching: A rapprochement. *Studies in Science Education*, 18, 25-51.

Matthews, M. (ed.) (1991a). *History, philosophy and science teaching: Selected readings*. Toronto: OISE Press.

Matthews, M. (1991b). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12, 141-155. (versión original en inglés de 1989)

Matthews, M. (1994a). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: La aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 255-277.

Matthews, M. (1994b). *Science teaching. The role of history and philosophy of science*. Nueva York: Routledge.

Matthews, M. (1994c). Vino viejo en botellas nuevas: un problema con la epistemología constructivista. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(1), 79-88.

Matthews, M. (1995). *Challenging New Zealand science education*. Auckland: Dunmore.

Matthews, M. (1997). James T. Robinson's account of philosophy of science and science teaching: Some lessons for today from the 1960s. *Science Education*, 81(3), 295-315.

Matthews, M. (1998). Foreword and introduction, en McComas, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*, xi-xxi. Dordrecht: Kluwer.

Matthews, M. (2000). *Time for science education. How teaching the history and philosophy of pendulum motion can contribute to science literacy*. Nueva York: Plenum Publishers.

Matthews, M. (2001). Methodology and politics in science: The fate of Huygens' 1673 proposal of the seconds pendulum as an international standard of length and some educational suggestions. *Science & Education*, 10(1&2), 119-135.

Maurines, L. (1992). Los estudiantes y la propagación de señales mecánicas: dificultades de una situación de varias variables y procedimientos de simplificación. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(1), 49-57.

Maxwell, N. (1992). What kind of inquiry can best help us create a good world? *Science, Technology and Human Values*, 17(2), 205-227.

McComas, W. (1998a). A thematic introduction to the nature of science: The rationale and content of a course for science educators, en McComas, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*, 211-222. Dordrecht: Kluwer.

McComas, W. (ed.) (1998b). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer.

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

McComas, W., Almazroa, H. y Clough, M. (1998). The nature of science in science education: An introduction. *Science & Education*, 7(0), 511-532.

McComas, W., Clough, M. y Almazroa, H. (1998). The role and character of the nature of science in science education, en McComas, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*, 3-39. Dordrecht: Kluwer.

McComas, W. y Olson, J. (1998). The nature of science in international science education standards documents, en McComas, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*, 41-52. Dordrecht: Kluwer.

Meichtry, Y. (1999). The nature of science and scientific knowledge: Implications for pre-service elementary methods course. *Science & Education*, 8(), 273-286.

Meinardi, E. (1998). Debates actuales en la didáctica de las ciencias naturales y su relación con la práctica en el aula, en *Actas de las IV Jornadas de Enseñanza de la Biología*. San Juan: Universidad Nacional de San Juan.

Meinardi, E. (2000). Análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

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., Adúriz-Bravo, A. y Sztrajman, J. (1997). La utilización del pensamiento científico en el profesorado. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra V Congreso Internacional, 61-62.

Meinardi, E., Adúriz-Bravo, A., Sztrajman, J. y Landa, S. (1998). La narración y la historia de la ciencia como herramientas para la enseñanza de un concepto científico complejo, en *Actas del I Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales*, 43-45. La Serena.

Meinardi, E., Galagovsky, L. y Sztrajman, J. (1998). Capacitación de alumnos universitarios del profesorado en ciencias naturales. *Actas de las Jornadas Desarrollos en Docencia Universitaria con Expocátedra*, 55. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Mellado, V. (1997). Pre-service teachers' classroom practice and their conceptions of the nature of science. *Science Education*, 6(4), 331-354.

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

Mellado, V. y González, T. (2000). La formación inicial del profesorado de ciencias, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.

Messick, S. (1994). The interplay of evidence and consequences in the validation of performance assessment. *Educational Researcher*, 23(2), 13-23.

Meyling, H. (1997). How to change students' conceptions of the epistemology of science. *Science & Education*, 6, 397-416.

Mialaret, G. (1969). *Nueva pedagogía científica*. Barcelona: Luis Miracle. (6ª edición) (edición original en francés)

Mialaret, G. (1981). *Ciencias de la educación*. Vilassar de Mar: Oikos-Tau. (edición original en francés de 1977)

Mialaret, G. (1985). *Introducción a las ciencias de la educación*. Ginebra: UNESCO.

Millar, R. (ed.) (1989). *Doing science: Images of science in science education*. Londres: Falmer.

Millar, R. (1994). What is 'scientific method' and can it be taught?, en Levinson, R. (ed.). *Teaching science*, 164-177. Londres: Routledge.

Millar, R. (2000). L'ensenyament sobre la ciència: el paper i les limitacions del treball d'investigació. *Resums de les II Jornades d'Educació per a una Cultura Científica*, 21-22.

Millar, R. (2001). What can we reasonably expect of research in science education?, en Psillos, D. et al. (eds.). *Science Education Research in the Knowledge Based Society*, 1. Salónica: Aristotle University of Thessaloniki.

Millar, R. y Driver, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.

Millar, R., Leach, J. y Osborne, J. (eds.) (1998). *Improving science education. The contribution of research*. Buckingham: Open University Press.

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

Molina, N. (1983). *María Curie*. Madrid: Urbión.

Monereo Font, C. (1995). Enseñar a conciencia. ¿Hacia una didáctica metacognitiva? *Aula de Innovación Educativa*, 34, 74-80.

Monk, M. y Dillon, J. (2000). The nature of scientific knowledge, en Monk, M. y Osborne, J. (eds.). *Good practice in science teaching. What research has to say*, 72-87. Buckingham: Open University Press.

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

Moreira, M.A. y Calvo, A. (1993). Constructivismo: Significados, concepciones erróneas y una propuesta, en *Memoria de la VIII Reunión Nacional de Educación en Física*, 237-248. Rosario: APFA.

Moreira, M.A. y Ostermann, F. (1993). Sobre la enseñanza del método científico, en *Memoria de la VIII Reunión Nacional de Educación en Física*, 3-12. Rosario: APFA.

Moreno, Á. (2000). El "paradigma" de los sistemas complejos y la filosofía de la ciencia, en de Mora, M.S., Ibarra, A., Pérez Sedeño, E. y Sánchez Balmaseda, I. (eds). *Actas del III Congreso de la Sociedad de Lógica, Metodología y Filosofía de la Ciencia en España*, 503-510. Donostia: UPV/EHU.

Morin, E. (1997). *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona: Gedisa. (edición original en francés de 1990)

Mosterín, J. (1982). Introducción, en Moulines, U. *Exploraciones metacientíficas*. Madrid: Alianza.

Mosterín, J. (1984). *Conceptos y teorías de la ciencia*. Madrid: Alianza.

Moulines, U. (1982). *Exploraciones metacientíficas*. Madrid: Alianza.

Moulines, U. (1991). *Pluralidad y recursión. Estudios epistemológicos*. Madrid: Alianza.

Mumbrú, P. (1993). Algunas reflexiones en torno a la didáctica de las matemáticas y su enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(3), 308-313.

Murga Menoyo, M.A., Marín, R. y Pérez Serrano, G. (1986). *Introducción a las ciencias de la educación*. Madrid: UNED.

Nadal, Ll. y Sanz, M.M. (2000). *Las ondas y el sonido en secundaria: El tubo de Kundt*. Barcelona: CDEC.

Nagel, E. (1968). *La estructura de la ciencia*. Buenos Aires: Paidós. (edición original en inglés de 1961)

Nassif, R. (1975). *Pedagogía general*. Madrid: Cincel.

Navarro Brotons, V. (1983). La historia de las ciencias y la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), 50-54.

Nersessian, N. (1989). Conceptual change in science and in science education. *Synthese*, 80(2), 163-183.

Nersessian, N. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science, en Giere, R. (ed.). *Cognitive models of science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Newton, P., Driver, R. y Osborne, J. (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, 21(5), 553-576.

Newton-Smith, W. (1981). *The rationality of science*. Londres: Routledge.

Niiniluoto, I. (1993). The aim and structure of applied research. *Erkenntnis*, 38(1), 1-21.

Nott, M. y Wellington, J. (1993). Your nature of science profile: An activity for science teachers. *School Science Review*, 75(270), 109-112.

Nott, M. y Wellington, J. (1996). Probing teachers' views of the nature of science: How should we do and where should we be looking?, en Welford, G., Osborne, J. y Scott, P. (eds.). *Research in science education in Europe: Current issues and themes*. Londres: Falmer.

Nott, M. y Wellington, J. (1998a). A programme for developing understanding of the nature of science in teacher education, en McComas, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*, 293-313. Dordrecht: Kluwer.

Nott, M. y Wellington, J. (1998b). Eliciting, interpreting and developing teachers' understandings of the nature of science. *Science & Education*, 7(6), 579-594.

Novak, J. (1977). An alternative to piagetian psychology for science and mathematics education. *Science Education*, 61(4), 453-477.

Novak, J. (1988). El constructivismo humano: hacia la unidad en la elaboración de significados psicológicos y epistemológicos, en Porlán, R., García, E. y Cañal, P. (comps.). *Constructivismo y enseñanza de las ciencias*. Sevilla: Díada. (versión original en inglés de 1986)

Nussbaum, J. (1983). Classroom conceptual change: The lesson to be learned from the history of science, en Helm, H. y Novak, J. (eds.). *Misconceptions in science and mathematics*. Ithaca: Cornell University.

Nussbaum, J. (1989). Classroom conceptual change: Philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, II, número especial, 530-540.

Nye, M.J. (1993). *From chemical philosophy to theoretical chemistry*. Berkeley: University of California Press.

Ogborn, J. (1995). Recovering reality. *Studies in Science Education*, 25, 3-38.

Ogborn, J., Kress, G., Martins, I. y McGillicuddy, K. (1996). *Explaining science in the classroom*. Buckingham: Open University Press.

Ogunniyi, M. (1982). An analysis of prospective science teachers' understanding of the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 19(1), 25-32.

Ohlsson, S. (1992). The cognitive skill of theory articulation: A neglected aspect of science education? *Science & Education*, 1(2), 181-192.

Osborne, J. (1993). Alternatives to practical work. *School Science Review*, 75, 117-123.

Osborne, J. (1996). Beyond constructivism. *Science Education*, 80(1), 53-82.

Osborne, J. (1999). Promoting argument in the science classroom: A rhetorical perspective, en *Proceedings of the Second ESERA Conference*. Kiel: IPN.

Osborne, J. (2000). A new agenda for science education: Science as practised or science appreciated? Londres: King's College.

Osborne, R. y Freyberg, P. (1995). *El aprendizaje de las ciencias. Implicaciones de las "ideas previas" de los alumnos*. Madrid: Narcea. (edición original en inglés de 1985)

Osborne, R. y Wittrock, M. (1985). The generative learning model and its implications for science education. *Studies in Science Education*, 12.

Osuna, L. y Martínez Torregrosa, J. (2001). Planificación de una unidad didáctica sobre “La luz y la visión”: Análisis de las barreras históricas y de su relevancia para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VI Congreso, 219-220.

Paixão, M.F. y Cachapuz, A. (1999). La enseñanza de las ciencias y la formación de profesores de enseñanza primaria para la reforma curricular: De la teoría a la práctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 69-77.

Paixão, M.F. y Cachapuz, A. (2001). Formación epistemológica y cambio de imágenes de ciencia impartidas en el aula. *Journal of Science Education*, 2(1).

Palmquist, B. y Finley, F. (1997). Preservice teachers' views of the nature of science during a postbaccalaureate science teaching program. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(6), 595-615.

Palop Jonqueres, P. (1983). Epistemología de las ciencias humanas y ciencias de la educación, en AA.VV. *Estudios sobre epistemología y pedagogía*. Madrid: Anaya.

Pella, M. (1976). Guest editorial: Sixty years of *Science Education*. *Science Education*, 60(4), 433-439.

Peme-Aranega, C. (1997). El carácter epistemológico interdisciplinario de la didáctica de las ciencias. *Educación en Ciencias*, 1(2), 5-13.

Perafán, G.A. (2000). Epistemological referents of the physics teachers, en *Abstracts de la XVI Conferencia Internacional del GIREP*, 199. Barcelona: PTTIS.

Perafán, G.A. (2001). Diversidad epistemológica del profesor y enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VI Congreso, 399-400.

Perales, F.J. (1995). Reflexiones sobre el campo de conocimientos de la didáctica de las ciencias experimentales, en *Actas del XVI Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales*.

Perales, F.J. (1997). Escuchando el sonido: Concepciones sobre acústica en alumnos de distintos niveles educativos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 233-247.

Perales, F.J. (2000). La resolución de problemas, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, 289-306. Alcoy: Marfil.

Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.) (2000). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.

Perales, F.J. et al. (eds.) (2001). *Las didácticas de las áreas curriculares en el siglo XXI*. Granada: Grupo Editorial Universitario.

Perdomo, M.I. (2000). La actividad científica como interpretación del mundo, en de Mora, M.S., Ibarra, A., Pérez Sedeño, E. y Sánchez Balmaseda, I. (eds). *Actas del III Congreso de la Sociedad de Lógica, Metodología y Filosofía de la Ciencia en España*, 551-556. Donostia: UPV/EHU.

Pérez Alonso-Geta, P.M. (1985). *Los congresos nacionales de pedagogía*. Valencia: Nau Llibres.

Pérez Gómez, Á. (2000). El conocimiento profesional del docente en la sociedad de la información, en del Carmen, Ll. (ed.). *Simposi sobre la formació inicial dels professionals de l'educació*, separata, 49-65. Girona: ICE de la UdG.

Pérez Otero, M. (2000). Sobre la estructura de la explicación causal teleológica, en de Mora, M.S., Ibarra, A, Pérez Sedeño, E. y Sánchez Balmaseda, I. (eds). *Actas del III Congreso de la Sociedad de Lógica, Metodología y Filosofía de la Ciencia en España*, 557-562. Donostia: UPV/EHU.

- Perkins, D. (1986). *Knowledge as design*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Perrenoud, P. (1996). *Enseigner: Agir dans l'urgence, décider dans l'incertitude*. París: ESF.
- Pessoa de Carvalho, A.M. (1994). La construcción del conocimiento y la enseñanza de las ciencias. *Revista de Enseñanza de la Física*, 7(2), 9-15.
- Petrucci, D. y Dibar Ure, M.C. (2001). Imagen de la ciencia en alumnos universitarios: Una revisión y resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 217-229.
- Phillips, D.C. (1995). The good, the bad, and the ugly: The many faces of constructivism. *Educational Researcher*, 24(7), 5-12.
- Piaget, J. (1969). *Psychologie et pédagogie*. París: Éditions Denoël.
- Piaget, J. (1970). *Naturaleza y métodos de la epistemología*. Buenos Aires: Proteo. (edición original en francés de 1967)
- Piaget, J. (1972). *Psicología y epistemología*. Buenos Aires: Emecé. (edición original en francés de 1970)
- Piaget, J. e Inhelder, B. (1959). *La genèse des structures logiques élémentaires*. París: Niestlé.
- Pickering, A. (1989). Living in the real world, en Gooding, D., Pinch, T. y Schaffer, S. (eds.). *The uses of the experiment*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Pittman, K.M. (1999). Generated analogies: another way of knowing? *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 1-22.
- Pla i Molins, M. (1993). *Curriculum y educación. Campo semántico de la didáctica*. Barcelona: EUB.

Planchard, É. (1961). *La pedagogía contemporánea*. Madrid: Rialp. (edición original en francés)

Planin\_ic, G., Kos, M. y Jerman, R. (2000). How to bridge the gap between the physics in research and physics in school? *Abstracts de la XVIII Reunión Internacional de la GIREP*, 24.

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

Popper, K. (1959). *The logic of scientific discovery*. Nueva York: Basic Books. (edición original en alemán de 1934)

Popper, K. (1981). *La sociedad abierta y sus enemigos*. Buenos Aires: Paidás. (edición original en inglés de 1950)

Popper, K. (1994). *Búsqueda sin término*. Madrid: Tecnos. (edición original en inglés de 1977)

Popper, K. (1997). La selección natural y el surgimiento de la mente, en Martínez, S. y Olivé, L. (comps.). *Epistemología evolucionista*. México: Paidós.

Porlán, R. (1993). La didáctica de las ciencias. Una disciplina emergente. *Cuadernos de Pedagogía*, 210, 68-71.

Porlán, R. (1994). El saber práctico de los profesores especialistas. Aportaciones desde las didácticas específicas. *Investigación en la escuela*, 24, 49-58.

Porlán, R. (1997). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: Teoría, métodos e instrumentos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 155-171.

Porlán, R. (1998). Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), 175-185.

Porlán, R. (1999). *La didáctica de las ciencias hoy*. Seminario en el Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals, Universitat Autònoma de Barcelona.

Porlán R. y Rivero, A. (1998). *El conocimiento de los profesores*. Sevilla: Díada.

Porlán, R., Rivero, A. y Martín, R. (1998). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores, II: Estudios empíricos y conclusiones. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 271-288.

Porlán, R., Rivero, A. y Martín, R. (2000). El conocimiento del profesorado sobre la ciencia, su enseñanza y aprendizaje, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.

Pozo, J.I. (1993). Psicología y didáctica de las ciencias de la naturaleza, ¿concepciones alternativas? *Infancia y Aprendizaje*, 62-63, 187-204.

Pozo, J.I. (1999a). Más allá del cambio conceptual: El aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 513-520.

Pozo, J.I. (1999b). Sobre las relaciones entre el conocimiento cotidiano de los alumnos y el conocimiento científico: Del cambio conceptual a la integración jerárquica. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 15-29.

Praia, J. y Cachapuz, F. (1994). Un análisis de las concepciones acerca de la naturaleza del conocimiento científico de los profesores portugueses de la enseñanza secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 350-354.

Quintana Cabanas, J.M. (1983). Pedagogía, ciencia de la educación y ciencias de la educación, en AA.VV. *Estudios sobre epistemología y pedagogía*. Madrid: Anaya.

Redish, E. (2000). Who needs to learn physics in the 21<sup>st</sup> century and why? *Abstracts de la XVIII Reunión Internacional de la GIREP*, 19.

Reichenbach, H. (1938). *Experience and prediction*. Chicago: Chicago University Press.

Reif, F. (1995). Understanding and teaching important scientific thought processes. *Journal of Science Education and Technology*, 4, 261-282.

Reif, F. y Larkin, J. (1991). Cognition in everyday domains: Comparison and learning implications. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 733-760.

Renner, J. y Yager, R. (1980). Proposed solutions for perceived problems in science education - 1979. *Science Education*, 64(5), 729-734.

Reyes, C. (2000). Formación de profesores en el modelo constructivo-colaborativo: La reflexión sobre prácticas de clase en la construcción del conocimiento pedagógico, en del Carmen, Ll. (ed.). *Simposi sobre la formació inicial dels professionals de l'educació*, 171-172. Girona: ICE de la UdG.

Rivadulla, A. (1985). *Filosofía actual de la ciencia*. Madrid: Editora Nacional.

Robinson, J. (1969). Philosophy of science: Implications for teacher education. *Journal of Research in Science Teaching*, 6(1), 99-104.

Rodrigo, M.J. y Cubero, R. (2000). Constructivismo y enseñanza de las ciencias, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.

Rodríguez Aguirre, G. (2001). Análisis semiótico didáctico de una exposición itinerante, en Rodríguez Aguirre, G. (ed.). *Resúmenes del II Encuentro de Estudiantes de Doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas*, 25-26. Barcelona: UB.

Rodríguez Diéguez, J.L. (1988). Acto sémico y acto didáctico, en AA.VV. *Estudios sobre epistemología y pedagogía*. Madrid: Anaya.

Romero, R. (2001). Propuesta metodológica para la unidad “Ondas”. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VI Congreso, 281-282.

Romero Ayala, F. (1998). Una pequeña reflexión sobre los problemas de investigación de la Didáctica de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), 171-174.

Rosenberg, A. (2000). *Philosophy of science. A contemporary introduction*. Londres: Routledge.

Rowell, P. (1998). Learning in school science: The promises and practices of writing. *Studies in Science Education*, 30, 19-56.

Rowell, J.A. y Cawthron, E. (1982). Images of science: An empirical study. *European Journal of Science Education*, 4(1), 79-94.

Ryan, A. y Aikenhead, G. (1992). Students' preconceptions about the epistemology of science. *Science Education*, 76(6), 559-580.

Salazar, I. (2000). *Ideas acerca de la naturaleza de la ciencia en futuros profesores de educación infantil*. Tesis de maestría. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Salmon, J. (ed.) (1992). *Introduction to the philosophy of science*. Nueva Jersey: Prentice Hall.

Saloni, A. (1970). Concetto di didattica, en AA.VV. *La pedagogia. Tomo 11: Forme e contenuti della didattica*. Milán: Francesco Vallardi.

Salvador Mata, F. (1991). Estatuto científico de la glotodidáctica. *Enseñanza*, 8, 51-64.

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

Sánchez, G. y Valcárcel, M.V. (1993). Diseño de unidades didácticas en el área de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), 33-44.

Sánchez Ron, J.M. (1988). Usos y abusos de la historia de la física en la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 179-188.

Sandín, C. (1967). *Ciencias de la educación. Tomo III: Técnica de la educación*. Alcoy: Marfil.

Sanjuán Nájera, M. (1983). *Ciencias de la educación. Volumen I: Pedagogía fundamental*. Zaragoza: Cometa.

Sanmartí, N. (1995). *Génesis del área de conocimiento "Didáctica de las Ciencias"*. Memoria del proyecto docente e investigador. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Sanmartí, N. (1997). *Revisem el nostre model de ciència*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Sanmartí, N. (1998). Reflections about "Formative assessment – From theory to practice" (P. Black), en *Joint Seminar King's College/Universitat Autònoma*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Sanmartí, N. (2000a). Aprender una nueva manera de pensar y de aplicar la evaluación: Un reto en la formación inicial del profesorado, en del Carmen, Ll. (ed.). *Simposi sobre la formació inicial dels professionals de l'educació*, 321-345. Girona: ICE de la UdG.

Sanmartí, N. (2000b). El diseño de unidades didácticas, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, 239-266. Alcoy: Marfil.

Sanmartí, N. e Izquierdo, M. (1997). Reflexiones en torno a un modelo de ciencia escolar. *Investigación en la Escuela*, 32, 51-62.

Sardà, A. y Sanmartí, N. (2000). Ensenyar a argumentar científicament: Un repte de les classes de ciències. *Ensenyanza de las Ciencias*, 18(3), 405-422.

Sarramona, J. y Marquès, S. (1985). *¿Qué es la pedagogía? Una respuesta actual*. Barcelona: Ceac.

Schwab, J.J. (1964). The teaching of science as enquiry, en Schwab, J.J. y Brandwein, P. (eds.). *The teaching of science*. Cambridge: Harvard University Press.

Segal, A. y Iaies, G. (1994). Las ciencias sociales y el campo de la didáctica, en Iaies, G. (comp.). *Didácticas especiales. Estado del debate*. Buenos Aires: Aique.

Sellés, J. y Bonan, L. (2000). Problemas de enseñanza-aprendizaje del tema mecanismos focales. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 8(1), 54-61.

Sendra (1993). *Yo, Matías, I*. Buenos Aires: Ediciones de la Flor.

Séré, M.G. y Weil-Barais, A. (1999). Contribuciones de las ciencias cognitivas a la didáctica de la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 71-78.

Seroglou, F. y Koumaras, P. (1999a). From history of science to science education: Presenting a research model, en Kormorek, M., Behrendt, H., Dahncke, H., Duit, R., Graber, W. y Kross, A. (eds.). *Research in science education. Past, present and future*, 318-320. Kiel: IPN.

Seroglou, F. y Koumaras, P. (1999b). The contribution of the history of physics in physics education: A review, en Bevilacqua, F. y Giannetto, E. (eds.). *Bicentenary of the invention of the battery*, 108. Pavia/Como: European Physical Society.

Seroglou, F. y Koumaras, P. (2001). The contribution of the history of physics in physics education: A review. *Science & Education*, 10(1&2), 153-172.

Shapin, S. y Schaffer, S. (1985). *Leviathan and the air pump: Hobbes, Boyle and the experimental life*. Princeton: Princeton University Press.

Shulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.

Shulman, L. (1989). Paradigmas y programas de investigación en el estudio de la enseñanza: Una perspectiva contemporánea, en Wittrock, M. (ed.). *La investigación de la enseñanza, I. Enfoques, teorías y métodos*. Barcelona: Paidós.

Siegel, H. (1979). On the distortion of the history of science in science education. *Science Education*, 63(1), 111-118.

Siegel, H. (1993). Naturalized philosophy of science and natural science education. *Science & Education*, 2(1), 57-68.

Simón, M. e Izquierdo, M. (1995). Lavoisier i el llenguatge simbòlic, en *Actes de les III Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica als Països Catalans*, 377-384. Barcelona.

Sipe, C. y Farmer, W. (1982). A summary of research in *Science Education* - 1980. *Science Education*, 66(3).

Skevington, J. (1994). Assessing and evaluating in science education, en Levinson, R. (ed.). *Teaching science*, 115-128. Londres: Routledge.

Slezak, P. (1994). Sociology of scientific knowledge and scientific education: Part I. *Science & Education*, 3(3), 265-294.

Solaz, J.J. y Sanjosé, V. (1992). El papel del péndulo en la construcción del paradigma newtoniano. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(1), 95-100.

Solbes, J. y Traver, M. (2001). Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las clases de física y química: Mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), 151-162.

Solbes, J. y Vilches, A. (1992). El modelo constructivista y las relaciones CTS. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), 181-186.

Solé, I. (2000). El estudio de casos como metodología en la formación inicial de los profesionales de la educación, en del Carmen, Ll. (ed.). *Simposi sobre la formació inicial dels professionals de l'educació*, separata, 66-83. Girona: ICE de la UdG.

Solomon, J. (1994a). The rise and fall of constructivism. *Studies in Science Education*, 23, 1-19.

Solomon, J. (1994b). The laboratory comes of age, en Levinson, R. (ed.). *Teaching science*, 7-21. Londres: Routledge.

Solomon, J., Duveen, J. y Scott, L. (1994). Pupil's images of scientific epistemology. *International Journal of Science Education*, 16(3), 361-373.

Soto, C. y Sanjosé, V. (2001). El cambio conceptual como programa de investigación en la didáctica de las ciencias, en Perales, F.J. et al. (eds.). *Las didácticas de las áreas curriculares en el siglo XXI*. Volumen I, 397-408. Granada: Grupo Editorial Universitario.

Speck, J., Wehle, G. et al. (1981). *Conceptos fundamentales de pedagogía*. Barcelona: Herder. (edición original en alemán de 1970)

Speltini, C. e Iglesias, A.I. (1998). Física para futuros ingenieros. *Actas de las Jornadas Desarrollos en Docencia Universitaria con Exproátedra*, p. 35.

Spencer, R. y Giúdice, M.C. (1968). *Nueva didáctica especial*. Buenos Aires: Kapelusz.

Speranza, F., Medici, D., Michelotti, M. y Vighi, P. (1987). Épistémologie et géométrie. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 401-402.

Stegmüller, W. (1979). *The structuralistic view of theories*. Berlín: Springer.

Steinle, F. (1999). The dynamics of representation: How Faraday made magnetic curves move, en Bevilacqua, F. y Giannetto, E. (eds.). *Bicentenary of the invention of the battery*, 26. Pavia/Como: European Physical Society.

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

Stuewer, R. (1998). History and physics. *Science & Education*, 7(1), 13-30.

Suchodolsky, B. (1971). *Tratado de pedagogía*. Barcelona: Ediciones Península. (ediciones originales en polaco de 1947 y 1968)

Suchting, W. (1992). Constructivism deconstructed. *Science & Education*, 1(3), 223-254.

Sullenger, K. y Turner, S. (1998). Nature of science: Implications for education. An undergraduate course for prospective teachers, en McComas, W. (ed.). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*, 243-253. Dordrecht: Kluwer.

Suppe, F. (1979). *La estructura de las teorías científicas*. Madrid: Editora Nacional. (edición original en inglés de 1974)

Suppe, F. (1989). *The semantic conception of theories and scientific realism*. Urbana: University of Illinois Press.

Suppe, F. (2000). Understanding scientific theories: An assessment of developments, 1969-1998. *Philosophy of Science*, 67, S112-S115.

Sutton, C. (1994). Well, Mary, what are they saying here?, en Levinson, R. (ed.). *Teaching science*, 61-75. Londres: Routledge.

Sutton, C. (1996). Beliefs about science and beliefs about language. *International Journal of Science Education*, 18(1), 1-18.

Tagliabue, R. y Gavarotto, C. (1998). Innovaciones en el aula: Articulación entre ciencia y metodología, en *Actas de las Jornadas Desarrollos en Docencia Universitaria con Expocátedra*, 51. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Tamayo, O. (2001). Actualidad de los estudios del cambio conceptual en la didáctica de las ciencias, en Rodríguez Aguirre, G. (ed.). *Resúmenes del II Encuentro de Estudiantes de Doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas*, 31-32. Barcelona: Universitat de Barcelona.

Tamayo, O., Espinet, M., Mena, N., Adúriz-Bravo, A., Badillo, E., Salazar, I. y Trujillo, J. (2000). Ideas on science teaching and learning in prospective teachers for early childhood education, en *Resúmenes del 25<sup>to</sup> Congreso Anual de la ATEE*, 79. Barcelona: Col.legi de Doctors i Llicenciats de Catalunya.

Taylor, J. (1974). *La nueva física*. Madrid: Alianza. (edición original en inglés de 1971)

Teixeira, S. (1982). *Estudo de noções espontâneas acerca de fenômenos relativos á luz em alunos de 11-18 anos*. San Pablo: IF/FEUSP.

Thagard, P. (1992a). Analogy, explanation, and education. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 537-544.

Thagard, P. (1992b). *Conceptual revolutions*. Princeton: Princeton University Press.

Thagard, P. (1997). En contra de la epistemología evolucionista, en Martínez, S. y Olivé, L. (comps.). *Epistemología evolucionista*. México: Paidós.

Thomaz, M., Cruz, M., Martins, I. y Cachapuz, A. (1996). Concepciones de futuros profesores de primer ciclo de primaria sobre la naturaleza de la ciencia: Contribuciones de la formación inicial. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 315-322.

Tiberghien, A. (1983). La investigación en un laboratorio de didáctica de las ciencias físicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(3), 187-192.

Tiberghien, A. (1985). Quelques éléments sur l'évolution de la recherche en didactique de la physique. *Revue Française de Pédagogie*, 72, 71-86.

Tobin, K. y McRobbie, C. (1997). Beliefs about the nature of science and the enacted science curriculum. *Science & Education*, 6(4), 331-354.

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

Touriñán López, J.M. (1989). Teoría de la educación: Identificación de la asignatura y competencia disciplinar. *Revista de Ciencias de la Educación*, 137, 7-35.

Tricárico, H. (1985). Física, ¿enseñanza experimental? *Revista de Enseñanza de la Física*, 1(1), 26-29.

Urrea, J. (2001). El relativismo del conocimiento. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 9, 100-107.

Utges, G., Welti, R., Fernández, P., Pacca, J. y González, E. (2001). Ondas en el nivel medio y universitario básico. Simposio. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VI Congreso, 51-60.

Valanides, N. (ed.) (2001). *Science and technology education: Preparing future citizens*. Paralimni: University of Cyprus.

Valanides, N. y Angeli, Ch. (2001). Constructivism in the classroom, en Valanides, N. (ed.). *Science and technology education: Preparing future citizens*, Volumen II, 157-164. Paralimni: University of Cyprus.

Valcárcel, M.V. y Sánchez, G. (2000). La formación del profesorado en ejercicio, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.

van Fraassen, B. (1980). *The scientific image*. Oxford: Oxford University Press.

Viennot, L. (1978). Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire. *Revue Française de Pédagogie*, 45, 16-23.

Viennot, L. (2001). Relating research in didactics and actual teaching practice: Impact and virtues of critical details, en Psillos, D. et al. (eds.). *Science education research in the knowledge based society*, 22-24. Salónica: Aristotle University of Thessaloniki.

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

von Cube, F. (1981). *La ciencia de la educación. Posibilidades, límites, abuso político*. Barcelona: Ceac. (edición original en alemán de 1977)

von Wright, G. (1979). *Explicación y comprensión*. Madrid: Alianza. (edición original en inglés de 1971)

Voss, B. (1983). A summary of research in science education - 1981. *Science Education*, 67(3).

Vygotsky, L (1993). Estudio del desarrollo de los conceptos científicos en la edad infantil. Problemas de Psicología General, capítulo 6, 248-255, en *Obras Escogidas*. Madrid: Aprendizaje Visor.

Waks, L. y Barchi, B. (1992). STS in U.S. school science: Perceptions of selected leaders and their implications for STS education. *Science Education*, 76(1), 79-90.

Wartofsky, M. (1978). *Introducción a la filosofía de la ciencia*. Madrid: Alianza. (edición original en inglés de 1968)

Watson, R. (1983). Science education: A discipline? *Journal of Research in Science Teaching*, 20(3), 263-264.

Watson, R. (2000). Aprendre actuant o apprendre pensant: El paper de les investigacions. *Resums de les II Jornades d'Educació per a una Cultura Científica*, 23-24.

Wellington, J. y Osborne, J. (2001). *Language and literacy in science education*. Buckingham: Open University Press.

Wolpert, L. (1992). *The unnatural nature of science*. Londres: Faber and Faber.

Woolnough, B. (2001). Professional development of science teachers through action research, en Valanides, N. (ed.). *Science and technology education: Preparing future citizens*, Volumen II, 16-20. Paralimni: University of Cyprus.

Yager, R. (1978). Priorities for research in science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 15(2).

Yager, R. (1983). Defining science education as a discipline. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(3), 261-262.

Yager, R. (1984). Defining the discipline of science education. *Science Education*, 68(1), 35-37.

Yager, R. (1985). In defense of defining science education as the science/society interface. *Science Education*, 69(2), 143-144.

Yager, R. (1992). What we did not learn from the 60s about science curriculum reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 19, 905-910.

Yager, R., Bybee, R., Gallagher, J. y Renner, J. (1982). An analysis of the current crisis in the discipline of science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 19(5), 377-395.

Yus, R. (1997). La transversalidad como constructo organizativo del currículo escolar, en la antesala de la globalidad. *Investigación en la Escuela*, 32, 43-50.

Zabalza, M.Á. (2001). El sentido de las didácticas específicas en las ciencias de la educación, en Perales, F.J. et al. (eds.). *Las didácticas de las áreas curriculares en el siglo XXI*, Volumen I, 25-46. Granada: Grupo Editorial Universitario.

Zamorano, R. (1999). Constructivismo y modelos de cambio científico. Sus consecuencias para la enseñanza de las ciencias. *Educación en Ciencias*, 3(7), 65-77.

## Apéndice 1

### Un nuevo instrumento NOS

---

El apéndice 1 contiene nuestra propuesta de protocolo NOS, basada en el meta-análisis de esta línea

Este apéndice describe y explica un instrumento de *elicitación* de las ideas acerca de la naturaleza de la ciencia que sustentan los futuros profesores de ciencias (Adúriz-Bravo, 1998d). Este instrumento puede ser de interés para los lectores porque resulta representativo de la metodología existente en la línea NOS en la actualidad (Lederman et al., 1998; McComas, Clough y Almazroa, 1998), y además puede ser utilizado como herramienta en la formación epistemológica del profesorado de ciencias.

El siguiente texto es la base para un protocolo de encuesta dirigido a futuros profesores de ciencias, diseñado con el fin de rastrear sus concepciones epistemológicas. Algunos de sus ítems, adaptados, fueron incluidos en el instrumento “Mi imagen sobre la naturaleza de las ciencias. Tercera y cuarta parte” (Espinet et al., 1998b), utilizado en una investigación empírica sobre aspirantes a profesorado de educación infantil<sup>315</sup>.

Metodológicamente, se trata de un cuestionario cerrado de tipo Likert. Los sujetos interrogados deben elegir entre cinco grados de acuerdo para cada una de las treinta y dos afirmaciones que se les presentan. Las afirmaciones (a modo de postulados epistemológicos) expresan ideas canónicas perimidas o actuales acerca de la naturaleza de la ciencia.

Como ya se adelantó, creemos que este protocolo de encuesta, acompañado de su correspondiente plantilla de análisis, puede ser utilizado como *base de orientación* (García y Sanmartí, 1996; Sanmartí, 2000a) para que los profesores de ciencias realicen una autoevaluación epistemológica en el contexto de un curso de metaciencias.

---

<sup>315</sup> Ver: Espinet et al. (2000); Salazar (2000); Espinet et al. (2001).

### *A1.1 Naturaleza de la ciencia*

La base de protocolo que hemos diseñado comprende tres *aspectos* complementarios relacionados con la naturaleza de la ciencia, que representan sendas preocupaciones epistemológicas centrales:

1. la *relación entre teorías y hechos*, que remite a los modelos de correspondencia entre el conocimiento científico y el mundo (Estany, 1993),
2. la *naturaleza del conocimiento científico*, relacionada con las cuestiones de la objetividad de la ciencia y la metodología científica (Echeverría, 1999), y
3. el *desarrollo del conocimiento científico*, que trae a colación el aspecto diacrónico en el análisis de la ciencia, considerado fundamental en la epistemología desde 1960 (Estany, 1990).

Recuperamos la idea de Nott y Wellington de un acercamiento “pendular” a los tópicos epistemológicos (capítulo 5)

Cada uno de estos tres aspectos se desarrolla desde el punto de vista de dos visiones epistemológicas complementarias, que hemos llamado *tradicional* y *avanzada* (Adúriz-Bravo, Salazar et al., en prensa). Estas dos visiones corresponden grosso modo a las ideas del positivismo lógico y de la nueva filosofía de la ciencia respectivamente<sup>316</sup>. En este sentido, nos inspiramos en la propuesta de Nott y Wellington (1993), que organizan su protocolo en pares de dimensiones *antinómicas*. Esta organización nos permite utilizar nuestro propio protocolo para un desarrollo “pendular” de la epistemología.

En los próximos apartados presentamos las afirmaciones que tipifican estas dos visiones epistemológicas. Más abajo, una sección completa está dedicada a esbozar los criterios de valoración de los resultados del cuestionario.

#### *A1.1.1 Relación teorías-hechos*

Esta primera dimensión se ocupa de las ideas de los profesores de ciencias acerca de la

---

<sup>316</sup> Estas escuelas se describen en el capítulo 4.

extensión y la certeza de la relación que se da entre el conocimiento científico y la realidad. Se trata de los dos tópicos epistemológicos centrales que en el capítulo 5 llamamos *correspondencia y racionalidad*. Como es usual en los estudios NOS, una parte importante del protocolo está dedicada a la exploración de las ideas del sentido común acerca de tres términos metateóricos fundamentales: *hipótesis, ley y teoría* (McComas, 1998c). En efecto, las relaciones que se plantean entre estas tres entidades resultan esclarecedoras del modelo epistemológico preponderante de los encuestados.

#### A1.1.1.1 Visión tradicional de la relación teórico-empírica

Caracterizada por un uso rígido y jerárquico de las ideas de hipótesis, ley y teoría (McComas, 1998c). Destacan también el sobredimensionamiento de lo empírico y la presencia de un procedimiento fuerte de *comprobación* (Chalmers, 1984; Koertge, 1990; Duschl, 1997). Esta visión está expresada en ocho ítems:

1. Las teorías están basadas directamente en la observación.
2. Una teoría es falseada si aparece un hecho que la contradice.
3. Una teoría es una hipótesis que se ha confirmado.
4. Un científico evalúa las afirmaciones de la ciencia exclusivamente a través de la evidencia.
5. El conocimiento científico se corresponde directamente con la realidad.
6. Las leyes científicas son regularidades de la naturaleza.
7. Las leyes son teorías probadas.
8. A través del experimento, el investigador comprueba si su hipótesis es verdadera o falsa.

#### A1.1.1.2 Visión avanzada de la relación teórico-empírica

Caracterizada por una mayor versatilidad en el uso de las metacategorías. Las teorías son consideradas la unidad *funcional* de la ciencia: se trata de invenciones no arbitrarias cuyo objetivo es dar sentido al mundo (McComas, 1998c; Izquierdo, 2000a; Perdomo, 2000), y que interactúan en forma compleja con los elementos empíricos. Esta visión avanzada queda expresada en seis ítems:

9. Las observaciones están fuertemente influenciadas por la teoría.
10. Las teorías son invenciones de los científicos.
11. Las teorías son herramientas para describir y explicar los fenómenos del mundo<sup>317</sup>.
12. Las teorías son validadas por su conexión con otras teorías.
13. Las teorías son aceptadas o rechazadas de acuerdo a factores lógicos y a factores sociales.
14. Un científico interpreta los resultados de investigación basándose en conocimiento previo, observación, lógica y factores sociales.

#### A1.1.2 Naturaleza del conocimiento científico

Este segundo aspecto recoge una serie de cuestiones relacionadas con la fiabilidad y la objetividad del conocimiento científico. Se exploran también las ideas de los profesores de ciencias acerca del *método científico*, que es un elemento emergente muy fuerte, capaz de caracterizar con gran eficacia el modelo epistemológico que está operando (Moreira y Ostermann, 1993; McComas, 1998c; Izquierdo, 2000a).

##### A1.1.2.1 Visión tradicional de la naturaleza del conocimiento

Está plasmada en ocho ítems, que expresan la idea *teleológica*<sup>318</sup> y describen una metodología rígida, objetiva, exacta y establecida a partir de la observación (Moreira y Ostermann, 1993; Fernández Montoro, 2000; Adúriz-Bravo, Salazar et al., en prensa):

15. El científico busca objetivamente la verdad.
16. El científico debe reportar sus hallazgos sin influencias fuera de la ciencia “pura”.
17. Es necesario usar un método para descubrir y validar teorías.
18. La metodología científica es un proceso “paso a paso”.

---

<sup>317</sup> Comparar con los postulados de McComas (capítulo 3).

<sup>318</sup> Esto es, una idea *finalista*, en la cual la meta principal de la ciencia es el descubrimiento de la verdad sobre el mundo.

19. El diseño de una investigación científica debe ser planificado antes de comenzarla.
20. La verdad científica se define como una descripción exacta de la naturaleza.
21. Toda investigación científica comienza por la observación sistemática del fenómeno que se estudia.
22. La metodología científica garantiza totalmente la objetividad en el estudio de la realidad.

#### A1.1.2.2 Visión avanzada de la naturaleza del conocimiento

En ella aparecen la *pluralidad metodológica* y la influencia de la comunidad científica (Bunge, 1980; Artigas, 1989; Moreira y Ostermann, 1993; Klimovsky, 1994; McComas, Clough y Almazroa, 1998). Se le dedican seis ítems:

23. Las afirmaciones de un científico están influenciadas por la comunidad científica y por investigaciones anteriores.
24. El conocimiento científico es tentativo.
25. El conocimiento científico es creado y validado por consenso en la comunidad científica.
26. Existen diferentes metodologías científicas, que se adoptan de acuerdo a las circunstancias.
27. El método científico experimental es sólo una posible guía para la investigación.
28. Las leyes se validan por consenso de los científicos.

#### A1.1.3 Desarrollo del conocimiento científico

Este tercer aspecto explora la componente *diacrónica* en los modelos epistemológicos que sustenta el profesorado de ciencias. Oponemos el modelo acumulacionista clásico a los diversos modelos evolucionistas postkuhonianos (Estany, 1990; Martínez y Olivé, 1997).

#### A1.1.3.1 Visión tradicional de la evolución

Es fundamentalmente acumulacionista, en estrecha interacción con la idea teleológica que mencionamos más arriba. El binomio acumulación/teleología generalmente aparece asociado al uso de la palabra *descubrir* por encima de *inventar*, y a una idea rígida de la *verdad* como correspondencia entre enunciados y hechos. Esta idea está expresada en cuatro ítems:

29. El conocimiento científico aumenta por la acumulación de observaciones.
30. La ciencia es un conjunto de descubrimientos.
31. El progreso científico consiste en descubrir teorías que se aproximen cada vez más a la verdad.
32. La ciencia ha evolucionado mediante la acumulación de teorías verdaderas.

#### A1.1.3.2 Visión avanzada de la evolución

Aparece en dos ítems que incorporan, respectivamente, las ideas de *cambio axiológico* y *relativismo nómico* (Echeverría, 1995):

33. La opinión acerca de qué es y qué no es científico cambia a lo largo del tiempo.
34. Dos teorías sucesivas sobre el mismo fenómeno son incomparables entre sí.

### A1.2 **Clave para la evaluación de los resultados**

Para el análisis de los resultados, los tres aspectos de nuestro cuestionario son desagregados en *categorías* de análisis. Se genera un conjunto de veinte categorías que caracterizan la visión tradicional y la visión avanzada. Para cada categoría, consignamos aquellos ítems del protocolo que mejor se le ajustan; los ítems resaltados en negrita son considerados los más característicos de cada categoría. Se proporcionan también algunas referencias bibliográficas, para los lectores que deseen profundizar en las ideas epistemológicas que hay detrás de cada categoría.

### A1.2.1 Visión tradicional

Es una visión ultrarracionalista, realista ingenua, fuertemente empirista e inductiva, y que caracteriza el avance científico como una acumulación de descubrimientos.

#### A1.2.1.1 Relación teorías hechos

Hay seis categorías de análisis, relacionadas respectivamente con el papel del razonamiento inductivo, la criteriología, las metacategorías y sus relaciones, la ontología, el rol de lo empírico y el descubrimiento científico:

- 1.1.1. Método científico *ascendente*, que “sube” por inducción desde la empiria hacia la teoría (Chalmers, 1984; Klimovsky, 1994). Ítems: 1, 8, y **21**.
- 1.1.2. Criterios exclusivamente lógicos en la contrastación de hipótesis, ya sea dentro de un marco verificacionista o de uno falsacionista (Chalmers, 1984; Koertge, 1990; Duschl, 1997; Adúriz-Bravo, Badillo et al., en prensa). Ítems: 2, 3, 4, y 7.
- 1.1.3. Uso rígido de los términos hipótesis, teoría y ley (Estany, 1993; McComas, 1998c). Ítems: 3, 6, 7, 8, **31** y **32**.
- 1.1.4. Realismo ingenuo, con un uso fuerte del principio de correspondencia (Nott y Wellington, 1998a; Adúriz-Bravo y Meinardi, 2000). Ítems: 5, 6, **20**, **30** y **31**.
- 1.1.5. Sobredimensionamiento de la importancia de lo empírico en la construcción de la ciencia (Duschl, 1997; Jiménez Aleixandre, 1997). Ítems: 1, 2, 4, 5, 6, 8, **20**, **21** y **29**.
- 1.1.6. Uso del término *descubrir* por encima del término *inventar* (González Gilmas, 2000). Ítems: **6**, 30 y 31.

#### A1.2.1.2 Naturaleza del conocimiento científico

Hemos desarrollado tres categorías, relacionadas con los diferentes papeles de la *verdad* en la ciencia –como *meta*, como *correspondencia* y como *producto* del método–:

- 1.2.1. Racionalismo teleológico, que tiene la verdad como meta (Gaeta et al., 1996; Adúriz-Bravo, Badillo et al., en prensa). Ítems: 15, 20 y **31**.
- 1.2.2. Objetividad como atributo del científico. Ítems: **4**, 16, 19 y 22.

1.2.3. Método algorítmico que garantiza la verdad (Moreira y Ostermann, 1993; McComas, 1998c). Ítems: 17, 18, 19, 21 y 22.

#### A1.2.1.3 Desarrollo del conocimiento científico

Le corresponde una única categoría, la visión clásica del crecimiento de la ciencia por *acumulación* de observaciones, resultados experimentales y descubrimientos:

1.3.1. Acumulacionismo como modelo de cambio científico (Chalmers, 1984; Adúriz-Bravo, Badillo et al., en prensa; Adúriz-Bravo, Salazar et al., en prensa). Ítems: 29, 30, 31 y 32.

#### A1.2.2 Visión avanzada

En términos generales, se trata de una visión contextualista, relativista, instrumentalista y constructivista, que caracteriza el avance científico como una combinación de continuidades y rupturas.

##### A1.2.2.1 Relación teorías-hechos

Hemos construido cinco categorías, que expresan diversas formas de *mediación teórica* en la recogida de los datos empíricos:

- 2.1.1. Hechos *construidos*, cargados de teoría (Izquierdo, 1990b, 1996a; Izquierdo y Márquez, 1993). Ítems: 9, 14, **23** y **28**.
- 2.1.2. Inventar por encima de descubrir (González Gilmas, 2000). Ítem: 10.
- 2.1.3. Realismo pragmático, instrumentalista (Giere, 1992b, 1999a). Ítem: 11.
- 2.1.4. La ciencia como sistema conceptual (Achinstein, 1968). Ítem: 12.
- 2.1.5. Factores múltiples en la creación y justificación del conocimiento científico (Duschl, 1997; Monk y Osborne, 1997). Ítems: 10, 12 y 13.

#### A1.2.2.2 Naturaleza del conocimiento científico

Con tres categorías, referidas a la intervención de la comunidad científica, la tentatividad del conocimiento y la aceptación de diversos métodos científicos:

- 2.2.1. Mediación social en la elección teórica (McComas, Clough y Almazroa, 1998). Ítems: 23, 25 y 28.
- 2.2.2. Tentatividad del conocimiento científico (Popper, 1994). Ítem: 24.
- 2.2.3. Pluralidad metodológica (Bunge, 1980; Moreira y Ostermann, 1993; Klimovsky, 1994). Ítems: 26 y 27.

#### A1.2.2.3 Desarrollo del conocimiento científico

Se rastrea en dos categorías, asociadas a las ideas kuhnianas:

- 2.3.1. Revolucionismo: ausencia de linealidad y cambios de Gestalt en la evolución científica (Kuhn, 1962; Estany, 1990; Izquierdo, 2000a). Ítems: **13**, **24** y 33.
- 2.3.2. Relativismo nómico (Kuhn, 1971; Echeverría, 1995): la idea de que las leyes científicas de paradigmas rivales son lingüísticamente *incommensurables*. Ítems: **10** y 34.

Esta clave de evaluación se utiliza en forma similar a las explicitadas con todo detalle por Koulaidis y Ogborn (1989) y Nott y Welligton (1993). Vale decir, se completa una *grilla* con los resultados de todos los ítems para cada uno de los profesores de ciencias encuestados. Luego se intenta clasificar a los profesores dentro de perfiles característicos predeterminados, según el grado de parecido de sus grillas con la *grilla paradigmática* del perfil.

## Apéndice 2

### Aplicación de la matriz de épocas y campos al tópico de la *explicación científica*

---

En este apéndice se presenta una propuesta didáctica que hemos diseñado para desarrollar el tópico de la *explicación científica* en la formación epistemológica del profesorado de ciencias. El tópico se implementa por medio de nuestra *matriz de épocas y campos* (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001f).

La propuesta sugiere un acercamiento “pendular” al tópico, en el cual se presentan como posturas extremas los modelos de explicación del positivismo lógico (primera sección) y de la nueva filosofía de la ciencia (segunda sección); entre estas posturas se ubica, como *vía media*, un modelo de explicación proveniente de las visiones contemporáneas (tercera sección).

Remitimos a la primera aplicación Algunas de las ideas de esta propuesta didáctica se incluyen en la actividad sobre la *Muerte en el Nilo* de Agatha Christie, expuesta en nuestra primera aplicación.

Nuestra propuesta toma elementos de la asignatura *Bases epistemològiques de la didàctica de les ciències* (Izquierdo, 1998a) y de la *Introducción a la filosofía de la ciencia* (Estany, 1993; capítulo 7, páginas 228-268)

#### ***A2.1 La explicación como razonamiento***

La concepción heredada, que enriqueció el planteamiento del positivismo lógico tomando algunas de las objeciones del racionalismo crítico, construyó una visión lógico-lingüística muy robusta de la explicación, conocida como el modelo de *cobertura legal*<sup>319</sup>. Gaeta y otros (1996) resumen así el rasgo central de este modelo:

---

<sup>319</sup> También llamado modelo *nomológico-deductivo*, o modelo Hempel-Popper.

De acuerdo con el modelo nomológico-deductivo, explicar un hecho individual consiste en deducir el enunciado que lo describe, el *explanandum*, de un conjunto de enunciados denominado *explanans*, integrado por una o más leyes científicas y otros enunciados referidos a hechos individuales relevantes (...). (p. 11; cursivas en el original)

En un lenguaje formalizado, podemos resumir el modelo bajo la forma:

$$C_i \cdot L_i \quad E$$

que significa que la *conjunción* de un conjunto de condiciones (iniciales y de contorno,  $C_i$ ) y de un conjunto de leyes ( $L_i$ ) da como consecuencia lógica el *explanandum* ( $E$ ). Este modelo de explicación, por tanto,

tiene la estructura de un razonamiento deductivo. (Estany, 1993: 230)

Ahora bien, el *explanandum* puede ser tan simple como un hecho empírico particular, o tan complejo como todo un sistema teórico, como se ilustra en este ejemplo canónico:

[L]a ley de Galileo o las leyes de movimiento de Kepler pueden *explicarse* mostrando que son consecuencias especiales de las leyes newtonianas de la gravedad y del movimiento. (Gaeta et al., 1996: 23; las cursivas son nuestras)

En este esquema de explicación, los enunciados legales son expresados con condicionales de forma lógica relativamente sencilla. En Hempel (1979) se exploran las llamadas *condiciones de adecuación* de la explicación científica desde este punto de vista formalizado.

El modelo nomológico-deductivo fue complementado más tarde con las explicaciones *teleológicas* y *funcionales*. Estas son todas aquellas que,

en lugar de aludir a las causas o condiciones antecedentes del fenómeno que pretenden explicar, indican la finalidad que lo motiva (...). (Gaeta et al., 1996: 13)

En la biología, las explicaciones teleológicas han sido relacionadas a veces con doctrinas *vitalistas*, por lo que se ha buscado eliminarlas mediante diversos argumentos. Nagel, por ejemplo, las redujo al modelo nomológico-deductivo, teniendo en cuenta que

[l]a diferencia entre un enunciado funcional y su traducción no funcional reside solamente en el énfasis y en la perspectiva de su formulación. (Gaeta et al., 1996: 55)

Un problema surgido en este modelo nomológico-deductivo es propio del razonamiento deductivo, a saber, la necesidad de preestablecer la *verdad* de las premisas para garantizar la de la conclusión. También está la dificultad formal y retórica para la *reducción* de fenómenos a explicaciones de tipo nomológico; este es el llamado *problema de los equivalentes funcionales* (Gaeta et al., 1996).

Otro problema lógico de gran complejidad es el del paralelismo formal que existe entre la explicación y la predicción. Puede probarse que estos dos procesos científicos no son equivalentes ni lógicamente ni semánticamente, por medio de los llamados *argumentos de Scriven* (Gaeta et al., 1996).

Otra de las dificultades con las que tropezó la concepción heredada es la de dilucidar la relación de la explicación científica con el concepto de *causalidad*, que es uno de los más arraigados en la epistemología clásica<sup>320</sup>.

En este contexto, se entiende que las explicaciones causales son

explicaciones nomológico-deductivas de hechos individuales que incluyan entre sus premisas [una ley causal, que] es la que afirma que cierto tipo de sucesos son seguidos invariablemente, cada vez que se producen, por otro tipo determinado de sucesos. (Gaeta et al., 1996: 34)

---

<sup>320</sup> Consúltense al respecto algo sobre la llamada *teoría de las propensiones* (Popper, 1994).

## A2.2 La explicación como práctica y como discurso

La nueva filosofía de la ciencia analoga la explicación a una *práctica discursiva*

La segunda familia de visiones teóricas generales sobre la explicación, proveniente de la nueva filosofía de la ciencia, se concentra en que ella sea inteligible y *convinciente*, por encima de formalmente correcta.

El *modelo ilocutivo* propuesto por Peter Achinstein (1989) se enfoca en la *estructura* formal de la explicación, como en el caso del positivismo lógico precedente, pero también en el *proceso* cognitivo y discursivo de explicar y, sobre todo, en el *resultado* retórico de la explicación (Estany, 1993; Izquierdo, 1999b), relacionado con la facultad de convencer.

Decimos que una explicación es válida (*eficaz*) en un contexto determinado si *convence* a quien la demanda.

## A2.3 La explicación como modelización

Recuperamos la importancia de la *abducción* para la didáctica de las ciencias

La tercera época de la epistemología, particularmente desde el asentamiento de la llamada concepción semántica, nos proporciona nuevos modelos de explicación que engloban todos los elementos de los modelos anteriores e incorporan el importantísimo proceso lógico de *abducción*. Este mecanismo lógico no deductivo (por tanto, no estrictamente válido desde el punto de vista formal) nos sirve como herramienta para entender la explicación científica en su relación con el proceso de modelización, que es central en las ciencias.

El modelo abductivo de explicación toma la modelización teórica como metáfora de la explicación, y permite conectar con el *modelo decisional* propuesto por Giere para el campo teórico estructurante de evolución y juicio. Giere sugiere

una visión del razonamiento científico no tanto como un proceso de inferencia, sino como una toma de decisiones. (Jiménez Aleixandre, 1997: 20)

Richard Duschl (1997), en su libro *Renovar la enseñanza de las ciencias*, intenta incorporar esta visión epistemológica en la formación del profesorado de ciencias. Nosotros recuperamos este intento en nuestras actividades didácticas de la primera aplicación, que muestran a los profesores de ciencias las posibles *reconstrucciones abductivas* de dos episodios de la historia de la ciencia: el planteamiento del modelo atómico de Rutherford y el descubrimiento del radio.

## Ejemplo de aplicación de los campos al análisis curricular

---

Este apéndice utiliza los campos teóricos estructurantes de la epistemología para analizar críticamente el programa de la asignatura *Bases epistemològiques de l'ensenyament de les ciències i de les matemàtiques*, diseñado por Mercè Izquierdo en la Universitat Autònoma de Barcelona. Por razones de pertinencia de nuestro marco conceptual, sólo analizaremos aquellos aspectos del programa relacionados con la epistemología de las ciencias naturales.

### A3.1 Las bases epistemológicas

Transcribimos primeramente el programa<sup>321</sup>:

#### 1. La construcción del conocimiento científico.

##### 1.1. ¿Qué son las ciencias?

1.1.1. De las ciencias “modelo de racionalidad” a las ciencias de racionalidad moderada.

1.1.2. La actividad científica. La tecnociencia. Axiología de la ciencia.

1.1.3. Modelos cognitivos para las ciencias: modelo semántico de teoría, realismo pragmático, racionalidad naturalizada.

1.1.4. Evolución de las teorías científicas.

1.1.5. Modelos de explicación científica: la lógica de la explicación según Hempel, la explicación estadística, la teoría pragmática, la teoría ilocutiva.

##### 1.2. ¿Qué es la clase de ciencias?

1.2.1. Acuerdos en la didáctica de las ciencias con respecto a la ciencia escolar.

1.2.2. El modelo didáctico constructivista.

1.2.3. Relación entre el modelo de ciencias y el modelo didáctico.

1.2.4. El concepto de actividad tecnocientífica escolar.

---

<sup>321</sup> El texto del programa (Izquierdo, 1998a) se consigna traducido y adaptado por nosotros, eliminándose el bloque dedicado a las matemáticas (bloque II).

- 1.2.5. La explicación científica en el aula.
- 1.3. Las dificultades para explicar los fenómenos: la construcción de los experimentos en la historia de la ciencia y en la clase de ciencias.
  - 1.3.1. Pensar sobre los fenómenos. Los lenguajes y la estructuración del pensamiento.
  - 1.3.2. Los conceptos y sus relaciones. Los mapas conceptuales. La V de Gowin.
- 2. Fundamentación epistemológica del currículo de ciencias.
  - 2.1. Diseño de la actividad científica escolar según el modelo cognitivo de ciencias.
    - 2.1.1. Una propuesta para la clase de ciencias: enseñar a pensar, a decir, a hacer... ¿qué y cómo?
    - 2.1.2. La interdisciplinariedad y la organización del currículo alrededor de los modelos teóricos.
    - 2.1.3. La epistemología naturalizada y la ciencia escolar: enseñar a razonar.
  - 2.2. Valoración de los materiales curriculares.
    - 2.2.1. ¿Qué dicen los libros de texto? ¿Qué concepción de conocimiento nos presentan?
    - 2.2.2. Técnicas de análisis de los textos: mapas lógicos, redes semánticas, dimensiones del texto.
    - 2.2.3. Identificación de los modelos de ciencia implícitos en los textos.
  - 2.3. Propuestas concretas.
    - 2.3.1. La clase como sistema semiótico.
    - 2.3.2. La clase como sistema retórico.
    - 2.3.3. La clase como contexto de la actividad científica.
    - 2.3.4. Los hechos paradigmáticos y la V de Gowin.
    - 2.3.5. La riqueza del lenguaje científico.

Para proceder al análisis estructural, debemos decir inicialmente que este curso excede los contenidos epistemológicos estrictos, pues los combina continuamente con contenidos didácticos de las ciencias<sup>322</sup>. De modo que en principio es necesario

---

<sup>322</sup> Hemos señalado que este procedimiento se encuentra frecuentemente en cursos de epistemología para profesores de ciencias en formación y en activo. Por ejemplo: Duschl (1997); Boersema (1998); Clough (1998); Sullenger y Turner (1998).

desacoplar, aunque sea parcialmente, los cuatro ejes temáticos que subyacen al programa:

1. Los contenidos epistemológicos propiamente dichos, esto es, aplicados a la ciencia erudita: todo 1.1; parte de 1.3; parte de 2.1; 2.2.2 y 2.3.5.
2. Los contenidos epistemológicos aplicados a la ciencia escolar: 1.2.3, 1.2.4 y 1.2.5; parte de 1.3; parte de 2.1; parte de 2.2; parte de 2.3.
3. Los elementos de la clase de ciencias analizados con modelos teóricos pertenecientes al *registro epistemológico* de la didáctica de las ciencias (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001e): 1.2.1, 1.2.2 y 1.3.2; parte de 2.1; parte de 2.3.
4. El uso instrumental de la epistemología en la educación científica: 1.3.2, 2.2.2 y 2.3.4.

Nuestro análisis se centra únicamente sobre el primer eje. Los contenidos epistemológicos propiamente dichos que aparecen en la programación de la asignatura, extractados y levemente reformulados, serían entonces:

1. Racionalidad categórica (1a) y racionalidad moderada (1b).
2. La actividad científica (2a): tecnociencia (2b) y axiología de la ciencia (2c).
3. Tres elementos del modelo cognitivo de ciencia: concepción semántica (3a), realismo pragmático (3b) y racionalidad naturalizada (3c).
4. Evolución de la ciencia.
5. Modelos de explicación científica: nomológico-deductivo (5a), estadístico (5b), pragmático (5c) e ilocutivo (5d).
6. La reconstrucción escrita del experimento.
7. Los conceptos científicos.
8. “Hablar y escribir” ciencia.
9. Organización disciplinar.
10. Epistemología naturalizada (10a) y razonamiento científico (10b).
11. El lenguaje científico (11a) y la estructura de los textos de ciencia (11b).

Introducimos ahora estos contenidos en la matriz de dieciocho casillas que contiene las respuestas de las tres épocas a los seis campos teóricos estructurantes (figura A3.1).

|  |                                       | É P O C A S   |     |   |     |   |     |
|--|---------------------------------------|---|-----|---|-----|---|-----|
|  |                                       | <i>positivismo<br/>lógico –<br/>concepción<br/>heredada</i> |     | <i>racionalismo<br/>crítico –<br/>nueva filosofía<br/>de la ciencia</i> |     | <i>postmodernismo<br/>–<br/>visiones<br/>contemporáneas</i> |     |
| <b>C<br/>A<br/>M<br/>P<br/>O<br/>S</b> | <i>correspondencia – racionalidad</i> | 1a  | 5a, | 1b  | 5c, | 3b, 3c  | 10b |
|  | <i>representación – lenguajes</i>     | 7,<br>11a,<br>11b   | 5b  | 7, 11a,<br>11b  | 5d  | 3a, 7,<br>8, 11a,<br>11b                                    |     |
|  | <i>intervención – método</i>          | 2a  |     | 2a  |     | 2a, 2b,<br>2c, 6  |     |
|  | <i>contextos – valores</i>            | 2a  |     | 2a  |     | 2a, 2b, 2c  |     |
|  | <i>evolución – juicio</i>             | 4   |     | 4   |     | 4   |     |
|  | <i>normatividad – recursión</i>       | 9   |     | 9   |     | 9, 10a  |     |
|  |                                       |   |     |   |     |   |     |

**Figura A3.1** Matriz de épocas y campos que permite ver los tópicos epistemológicos cubiertos por la programación que estamos analizando.

### A3.2 Sobre la construcción de la matriz

La única dificultad importante sobrevino a la hora de ubicar el tópico epistemológico de la *organización disciplinar* de la ciencia, que corresponde al área del análisis estructural. Según nuestra descripción de los campos teóricos estructurantes, esta área quedaría englobada en la cuestión más amplia de los modos de representación. En este sentido, el concepto de disciplina sería una herramienta teórica para dar cuenta uno de los niveles más altos de agrupación jerárquica del conocimiento científico. Pero el problema *pedagógico* (Nott y Wellington, 1998b) de cómo estructurar la ciencia para enseñarla se ubicaría más naturalmente en el campo de normatividad y recursión, y así lo hemos hecho.

### A3.3 Sobre la interpretación de la matriz

Un primer análisis de la matriz de épocas y campos nos permite ver que los campos teóricos estructurantes de contextos y valores, y normatividad y recursión aparecen poco

tratados, por lo menos a nivel de la programación *enunciada* abiertamente (programación prescrita). Sin embargo, un análisis de la bibliografía del curso nos permitiría corregir esta impresión.

Otra puntualización es con respecto al tópico de *evolución científica*. Dado que no se especifica explícitamente qué modelo de evolución se sustenta (aunque el uso mismo de la palabra *evolución* puede darnos pistas), podemos suponer que el tema es tratado sucesivamente desde las tres épocas.

Las propuestas de Izquierdo, Gaeta y otros y Estany inspiran nuestro diseño didáctico alrededor de la *explicación*

Otro elemento interesante que se pone en evidencia en nuestro análisis es la consideración del tópico de la *explicación científica* como un organizador de síntesis que es *transversal* a los campos. En la asignatura que estamos examinando, este tópico es desarrollado dentro de algunos de los diferentes modelos históricos que se han propuesto como respuesta a él: el nomológico-deductivo, el estadístico, el pragmático y el ilocutivo. Este tratamiento del tema es avalado por otros autores (Estany, 1993; Gaeta et al., 1996). Remitimos a los lectores al apéndice 2, en el cual adaptamos la idea de la presentación cronológica de la explicación, cubriendo los tres primeros campos en las tres épocas.

Nuestras trece dimensiones (capítulos 4 y 5) nos permiten un *análisis clasificadorio* de las propuestas

El propósito de este apéndice es aplicar la técnica de análisis composicional por campos teóricos estructurantes a treinta propuestas de enseñanza de la epistemología que circulan en la literatura especializada de la didáctica de las ciencias. El análisis se efectúa en un primer nivel, de tipo *clasificadorio*.

Nuestro análisis puede servir para ayudar a los profesores de ciencias a incorporar estas propuestas a su propia práctica profesional, al dejar al descubierto la fundamentación epistemológica y didáctica que subyace a ellas.

Las primeras cuatro propuestas de enseñanza de la epistemología de esta base de datos son inspeccionadas con más detalle en el capítulo 6; ellas cumplen, por tanto, la función de *ejemplos paradigmáticos* de nuestro marco conceptual.

#### **A4.1 Diálogo entre dos *Weltanschauungen***

Identificación: 01.

Autora: Mercè Izquierdo.

Título: Discusión entre un farmacéutico químico y un farmacéutico tradicional.

Idioma: Castellano<sup>323</sup>.

Fuente: Izquierdo, 2000b.

Formato: Forma parte de un capítulo de libro.

Población: Didactas de las ciencias.

Contexto: Curso de metaciencias (historia de la ciencia).

Finalidad: Intrínseca.

Método: Discusión sobre un diálogo escrito, que puede dramatizarse opcionalmente.

---

<sup>323</sup> Hay también versiones en catalán y en inglés.

Relación con una disciplina: Sí (química).

Anclaje en contenidos: No.

Época: Postmodernismo y visiones contemporáneas.

Campos: Contextos y valores. Evolución y juicio.

Esta propuesta opone dos paradigmas científicos provenientes de la historia de la química –la herboristería galenista y la *iatroquímica*<sup>324</sup>–, a través de un diálogo entre dos personajes ficticios que representan dichos paradigmas:

La polémica sobre la adecuación de los medicamentos químicos corresponde a mediados del siglo XVII y coincide con la emergencia de la química como disciplina, diferente de la alquimia y vinculada a la nueva medicina. (Izquierdo, 2000a: 52)

Uno de los aspectos históricos al que se hace referencia es el de la configuración de los diferentes estudios académicos en las grandes universidades europeas (Gelmi, 1997). En este sentido, se pone énfasis en la naturaleza intrínsecamente *práctica* de la química, que la mantuvo por mucho tiempo alejada de la universidad.

El campo principal que se desea enseñar es el de contextos y valores, representado por el tópico epistemológico de la influencia de los factores *externos* (políticos, éticos, religiosos, culturales) en los compromisos teóricos. El modelo epistemológico que se propone es un modelo *contextualista* moderado, propio de la tercera época.

#### **A4.2 El péndulo y la determinación del patrón universal de longitud**

Identificación: 02.

Autor: Michael Matthews.

Título: Methodology and politics in science.

Idioma: Inglés.

Fuente: Matthews, 2001.

Formato: Artículo de investigación.

---

<sup>324</sup> Es decir, la química aplicada a la medicina.

Población: Estudiantes de ciencias (secundaria y bachillerato).

Contexto: Curso de ciencias (mecánica newtoniana).

Finalidades: Intrínseca. Cultural.

Método: Discusión guiada sobre dos episodios históricos.

Relación con una disciplina: Sí (física).

Anclaje en contenidos: No.

Épocas: Positivismo lógico y concepción heredada. Racionalismo crítico y nueva filosofía de la ciencia.

Campos: Intervención y método. Contextos y valores.

Esta propuesta trabaja sobre dos episodios históricos que ponen de manifiesto la importancia central que tuvo el *péndulo* en la construcción del paradigma newtoniano (Solaz y Sanjosé, 1992). El primero de los episodios, el viaje de Jean Richer a Cayena entre 1672 y 1673, se utiliza para explorar el papel de la llamada *cláusula ceteris paribus*<sup>325</sup> en el proceso de justificación de las hipótesis. Se trata entonces de una actividad alrededor de un modelo de la concepción heredada sobre la metodología científica.

El segundo episodio retrata la decisión de la *Académie des Sciences* de París, en plena revolución francesa, de adoptar como patrón de longitud universal una partición del meridiano terrestre. Con este episodio se examina la influencia del contexto económico, político y cultural en las decisiones científicas. Al respecto, se propone un modelo moderado de la nueva filosofía de la ciencia.

#### **A4.3 Uso de cómics para evaluar imágenes sobre la naturaleza de la ciencia**

Identificación: 03.

Autora: Patricia Gallego.

Título: El cómic y la imagen de la ciencia.

---

<sup>325</sup> Es decir, la suposición de que sólo “con los demás factores iguales”, una variable seleccionada influencia la validez de una hipótesis.

Idioma: Castellano.

Fuente: Gil-Pérez, Carrascosa, Gallego y Fernández Montoro, 2000.

Formato: Forma parte de un artículo de investigación.

Población: Profesores de ciencias (en activo).

Contexto: Curso de didáctica de las ciencias.

Finalidad: Cultural.

Método: Discusión sobre una recopilación de cómics recreativos y educativos acerca de la ciencia.

Relación con una disciplina: No.

Anclaje en contenidos: No.

Época: Racionalismo crítico y nueva filosofía de la ciencia.

Campos: Contextos y valores.

Esta propuesta problematiza las imágenes *folk* acerca de la ciencia que circulan en los medios de comunicación masivos; entre otras: que el científico trabaja solo, que su trabajo es únicamente experimental, que persigue fines *extrínsecos*, que es una persona de características físicas y psíquicas peculiares. Estas imágenes se identifican y verbalizan a través del análisis de una amplia base de cómics que reflejan la ciencia.

También se presta atención a la imagen popular de la mujer en la ciencia (Gallego et al., 2001).

#### *A4.4 Autoevaluación del perfil de la naturaleza de la ciencia*

Identificación: 04.

Autores: Mick Nott y Jerry Wellington.

Título: Nature of science profile.

Fuente: Nott y Wellington, 1998a.

Formato: Forma parte de un capítulo de libro.

Población: Profesores de ciencias (en formación y en activo).

Contexto: Curso de metaciencias (epistemología).

Finalidad: Cultural.

Método: Actividades de lápiz y papel.

Relación con una disciplina: No.

Anclaje en contenidos: No.

Épocas: Positivismo lógico y concepción heredada. Racionalismo crítico y nueva filosofía de la ciencia.

Campos: Intervención y método. Evolución y juicio. Normatividad y recursión.

Esta propuesta didáctica está estructurada en tres momentos. En primer lugar, los profesores de ciencias autoevalúan su perfil epistemológico por medio del célebre protocolo (Nott y Wellington, 1993). La construcción *dicotómica* del instrumento, en donde cada una de las seis dimensiones admite dos valores extremos, nos proporciona pistas para asumir que esta propuesta intenta oponer modelos positivistas lógicos, por un lado, y de la nueva filosofía de la ciencia, por otro.

A continuación, una serie de *incidentes críticos* (*critical incidents*), que son actividades de lápiz y papel, sirve para explorar más profundamente el modelo NOS del profesor de ciencias, revisando la influencia que tiene en la toma de decisiones en el aula:

[I]ncidents (...) evoke authentic responses from the teacher which provide an insight into the teacher's view of science as well as matters to do with teaching and learning. (Nott y Wellington, 1998a: 297)

En el último momento, se provee a los profesores de ciencias de tres actividades útiles para tratar la naturaleza de la ciencia en el aula de secundaria. La primera actividad, que examina los trabajos de Edward Jenner sobre la vacunación, se centra en el campo de intervención y método. La segunda actividad, acerca del movimiento browniano, se enfoca en el campo de evolución y juicio. La tercera actividad, que presenta el modelo de Alhacén de propagación rectilínea de la luz<sup>326</sup>, combina ambos campos.

---

<sup>326</sup> Postulado a fines del siglo X de nuestra era.

#### *A4.5 Construcción de los conceptos fundamentales vinculados a la estructura lógica de la física*

Identificación: 05.

Autor: Jorge Cornejo.

Título: Sobre la estructura lógica de la física.

Fuente: Cornejo, 2000.

Formato: Artículo de investigación.

Población: Estudiantes de ciencias (primer curso de la universidad).

Contexto: Curso de ciencias (mecánica newtoniana).

Finalidades: Instrumental. Intrínseca. Cultural.

Método: Clases teóricas y prácticas.

Relación con una disciplina: Sí (física).

Anclaje en contenidos: No.

Época: Positivismo lógico y concepción heredada.

Campo: Representación y lenguajes.

En esta propuesta se utiliza la epistemología *instrumentalmente* para proporcionar una fundamentación de la física, especialmente en lo que hace a sus formas de representación.

#### **A4.6 Algunas ideas de la historia de la ciencia**

Identificación: 06.

Autora: Diana Hugo.

Título:

Idioma: Castellano.

Fuente: Hugo y Rassetto, 1992.

Formato: Unidad didáctica publicada internamente.

Población: Profesores de ciencias (en activo).

Contexto: Curso de didáctica de las ciencias.

Finalidad: Cultural.

Método: Ejercicios de lápiz y papel.

Relación con unas disciplinas: Sí (química y biología).

Anclaje en contenidos: No.

Época: Racionalismo crítico y nueva filosofía de la ciencia.

Campo: Intervención y método.

La actividad está dirigida a la formación continuada del profesorado de química y biología. Inicialmente, se propone una *cuestión* de la química para hacer aflorar las dificultades didácticas. Luego se utilizan varios episodios históricos para enseñar tópicos epistemológicos. Uno de los episodios que más se desarrolla es la participación de Berthollet en la expedición bonapartista a Egipto.

#### **A4.7 La historia de la tabla periódica en verso**

Identificación: 07.

Autora: Rita Linares.

Título: De Aristóteles a hoy: presten atención que ahí voy.

Idioma: Castellano.

Fuente: Linares, 2001.

Formato: Propuesta didáctica inédita.

Población: Estudiantes de ciencias (universitarios).

Contexto: Curso de ciencias (química).

Finalidad: Cultural.

Método: Discusión sobre un poema humorístico.

Relación con una disciplina: Sí (química).

Anclaje en contenidos: No.

Época: Postmodernismo y visiones contemporáneas.

Campos: Normatividad y recursión. Evolución y juicio. Contextos y valores.

La idea epistemológica principal que se intenta transmitir con esta actividad es que la educación científica ha sido, desde siempre, una actividad intrínsecamente vinculada al desarrollo de las ciencias.

Se trata también la idea de que la química es una actividad de raíces prácticas, ocupada de la transformación activa del entorno:

La Alquimia, palabra árabe,  
mezcla de ciencia y de arte  
-tildada de brujería-  
en malolientes marmitas  
buscaba sin descansar  
transmutación de metales,  
sublimación del espíritu,  
el elixir de la vida,  
¡la piedra filosofal! (Linares, 2001: 1)

#### A4.8 Análisis filosófico de productos teóricos

Identificación: 08.

Autora: Anna Estany.

Título: La filosofía de la ciencia frente a otras disciplinas. Órdenes y aspectos.

Idioma: Castellano.

Fuente: Estany y Casacuberta, 2000.

Formato: Forma parte de un libro de ejercicios.

Población: Estudiantes de ciencias (universitarios)<sup>327</sup>.

Contexto: Curso de metaciencias (epistemología).

Finalidad: Intrínseca.

Método: Ejercicios escritos.

Relación con una disciplina: Sí (varias ciencias naturales y sociales).

Anclaje en contenidos: No.

---

<sup>327</sup> Esta propuesta también está dirigida a estudiantes de filosofía.

Época: Positivismo lógico y concepción heredada.

Campo: Normatividad y recursión.

Esta propuesta agrupa once actividades de lápiz y papel en dos bloques. El primer bloque está dedicado a distinguir el objeto de estudio y la perspectiva que sustentan las diferentes metaciencias (epistemología, historia de la ciencia, politología de la ciencia, psicología de la ciencia, ...). Se trabaja sobre una gran cantidad de textos breves, muchos de ellos extraídos de la prensa. El segundo bloque propone una herramienta analítica, los *órdenes y aspectos* de la epistemología (Estany, 1993; Adúriz-Bravo, 1999e), para examinar “afirmaciones” (Estany y Casacuberta, 2000: 17) de diferentes disciplinas científicas.

El campo principal enseñado en esta propuesta es el de normatividad y recursión. Dentro de este campo, se tratan tres ideas muy importantes, que sirven para caracterizar la epistemología como disciplina desde un modelo (neo)analítico:

1. Que la epistemología está fundamentalmente centrada en el estudio de las *teorías* científicas, por recursión:

El filósofo de la ciencia toma como objeto de análisis los productos teóricos que ofrecen los científicos. (Estany, 1993: 18)

2. Que la epistemología no es la única *metaciencia*, y que se distingue de las otras por su perspectiva teórica:

La ciencia puede ser objeto de estudio de otras disciplinas, analizándola desde otras perspectivas, a saber: política, sociológica, ética y psicológica. (Estany, 1993: 23)

3. Que la epistemología incluye diversos aspectos constituyentes, y que se ubica en distintos órdenes de discurso:

Podemos distinguir tres aspectos fundamentales de la reflexión metacientífica, a saber: el metodológico, el ontológico y el lógico-semántico. (Estany, 1993: 26)

#### **A4.9 Las teorías en la formación del profesorado de ciencias**

Identificación: 09.

Autora: María del Pilar Jiménez Aleixandre.

Título: Comparando teorías.

Idioma: Castellano<sup>328</sup>.

Fuente: Jiménez Aleixandre, 1995.

Formato: Forma parte de un capítulo de libro.

Población: Didactas de las ciencias.

Contexto: Curso de metaciencias (epistemología).

Finalidad: Intrínseca.

Método: Ejercicios de lápiz y papel.

Relación con una disciplina: Sí (biología).

Anclaje en contenidos: No.

Época: Postmodernismo y visiones contemporáneas.

Campos: Representación y lenguajes.

#### **A4.10 Un estudio sobre la luna**

Identificación: 10.

Autoras: Sandra Abell, Mariana Martini y Melissa George.

Título: A moon study.

Idioma: Inglés.

Fuente: Abell et al., 1999.

Formato: Forma parte de una presentación a congreso.

Población: Profesores de ciencias (maestros de primaria en activo).

Contexto: Curso de metaciencias.

Finalidad: Instrumental.

Método: Trabajo de investigación guiado.

---

<sup>328</sup> Hay también versiones en gallego y en inglés.

Relación con una disciplina: Sí (química).

Anclaje en contenidos: No.

Época: Postmodernismo y visiones contemporáneas.

Campos: Intervención y método.

Esta propuesta lleva a los futuros maestros de primaria, a través de un trabajo práctico sobre las fases de la luna, a la discusión acerca de cuestiones metodológicas.

#### **A4.11 Una reflexión sobre los problemas de investigación de la didáctica de las ciencias**

Identificación: 11.

Autora: Leonor Bonan.

Título:

Idioma: Castellano.

Fuente: Galagovsky, Adúriz-Bravo y Bonan, 1998.

Formato: Presentación a congreso.

Población: Profesores de ciencias (en formación).

Contexto: Curso de didáctica de las ciencias.

Finalidad: Instrumental.

Método: Discusión guiada sobre materiales escritos.

Relación con una disciplina: Sí (didáctica de las ciencias).

Anclaje en contenidos: No.

Época: Postmodernismo y visiones contemporáneas.

Campos: Normatividad y recursión.

#### **A4.12 La mecánica cuántica y el contexto cultural**

Identificación: 12.

Autora: Gesche Pospiech.

Título: Philosophie und Quantum-Mechanik.

Idiomas: Alemán. Inglés.

Fuente: Pospiech, 1999.

Formato: Forma parte de una presentación a congreso.

Población: Estudiantes de ciencias (universitarios de física).

Contexto: Curso de ciencias (mecánica cuántica).

Finalidad: Instrumental. Cultural.

Método: Discusión sobre un diálogo escrito.

Relación con una disciplina: Sí (física).

Anclaje en contenidos: Parcialmente.

Época: Postmodernismo y visiones contemporáneas.

Campos: Varios.

#### **A4.13 Una gráfica para ubicar posturas epistemológicas de correspondencia y racionalidad**

Identificación: 13.

Autora: Cathleen Loving.

Título: The scientific theory profile.

Idioma: Inglés.

Fuente: Loving, 1998.

Formato: Forma parte de un capítulo de libro.

Población: Didactas de las ciencias.

Contexto: Curso de metaciencias.

Finalidad: Intrínseca. Instrumental.

Método: Trabajo sobre una gráfica con diferentes consignas individuales y grupales.

Relación con una disciplina: No.

Anclaje en contenidos: No.

Época: Postmodernismo y visiones contemporáneas.

Campos: Correspondencia y racionalidad. Normatividad y recursión.

#### A4.14 **La teoría celular**

Identificación: 14.

Autores: Karen Dawkins y Allan Glatthorn.

Título:

Idioma: Inglés.

Fuente: Dawkins y Glatthorn, 1998.

Formato: Forma parte de un capítulo de libro.

Población: Didactas de las ciencias.

Contexto: Curso de metaciencias.

Finalidad: Instrumental.

Método: Discusión sobre textos históricos y un diálogo de ficción.

Relación con una disciplina: Sí (biología).

Anclaje en contenidos: No.

Época: Postmodernismo y visiones contemporáneas.

Campos: Contextos y valores. Evolución y juicio.

#### A4.15 **La objetividad**

Identificación: 15.

Autores: Esther Díaz y Mario Heler.

Título:

Idioma: Castellano.

Fuente: Díaz y Heler, 1988.

Formato: Forma parte de un libro.

Población: Estudiantes de ciencias.

Contexto: Curso de metaciencias.

Finalidad: Instrumental.

Método: Lápiz y papel.

Relación con una disciplina: No.

Anclaje en contenidos: No.

Época: Postmodernismo y visiones contemporáneas.

Campos: Contextos y valores. Evolución y juicio.

La consigna propone leer a Paul Feyerabend, Michel Foucault, Sigmund Freud, M. Horkheimer, Edmund Husserl, Thomas Kuhn, M. Marcuse y Karl Popper. Como resultado, se requiere formular un ejemplo a favor de la tesis objetivista y uno a favor de la tesis anti-objetivista.

#### **A4.16 Introducción a la epistemología**

Identificación: 16.

Autor: William Cobern y Cathleen Loving.

Título: Introducing the philosophy of science.

Idioma: Inglés.

Fuente: Cobern y Loving, 1998.

Formato: Capítulo de libro.

Población: Profesores de ciencias.

Contexto: Curso de metaciencias.

Finalidad: Instrumental.

Método: Actividades de lápiz y papel.

Relación con una disciplina: No.

Anclaje en contenidos: No.

Época: Postmodernismo y visiones contemporáneas.

Campos: Todos.

#### **A4.17 La ciencia “desnaturalizada”**

Identificación: 17.

Autores: Norman Lederman y Fouad Abd-el-Khalick.

Título:

Idioma: Lederman y Abd-el-Khalick, 1998.

Fuente: Lederman, 2000b.

Formato: Forma parte de un capítulo de libro.

Población: Didactas de las ciencias.

Contexto: Curso de metaciencias.

Finalidad: Cultural. Instrumental. Intrínseca.

Método: Ejercicios con material concreto.

Relación con una disciplina: No.

Anclaje en contenidos: No.

Época: Postmodernismo y visiones contemporáneas.

Campos: Representación y lenguajes.

#### A4.18 **Desarrollo de teorías**

Identificación: 18.

Autores: Fred Jansen y Peter Voogt.

Título:

Idioma: Inglés.

Fuente: Jansen y Voogt, 1998.

Formato: Forma parte de un capítulo de libro.

Población: Didactas de las ciencias.

Contexto: Curso de metaciencias.

Finalidad: Instrumental.

Método: Actividades de lápiz y papel.

Relación con una disciplina: Sí (química).

Anclaje en contenidos: No.

Época: Racionalismo crítico y nueva filosofía de la ciencia.

Campos: Contextos y valores. Evolución y juicio.

#### A4.19 **Conceptos, procedimientos y actitudes referidos a la metodología científica**

Identificación: 19.

Autores: Miembros del Taller de Enseñanza de la Física, Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata.

Título: Conceptos de metodología científica.

Idioma: Castellano.

Fuente: Cappannini et al., 1999.

Formato: Forma parte de un artículo de investigación.

Población: Estudiantes universitarios de ciencias (biología y geología).

Contexto: Curso de ciencias (Física General).

Finalidad: Instrumental.

Método: Taller.

Relación con una disciplina: Sí (física).

Anclaje en contenidos: No.

Época: Racionalismo crítico y nueva filosofía de la ciencia.

Campo: Intervención y método.

Esta propuesta presenta un taller estructurado en cinco etapas (Cappannini et al., 1999: 195-197):

1. explicitación de conocimientos previos,
2. praxis conceptual,
3. meta-análisis,
4. aplicación, y
5. evaluación.

Las cinco etapas están instrumentadas alrededor de un clásico *juego de la caja negra*, que examina el comportamiento al rodar de una lata cuya disposición interior no se conoce.

#### **A4.20 Introducción a la lógica deductiva**

Identificación: 20.

Autor: Glen Aikenhead.

Título: Some rules of logic.

Idioma: Inglés.

Fuente: Aikenhead, 1991.

Formato: Capítulo de libro.

Población: Estudiantes de ciencias (universitarios).

Contexto: Curso de metaciencias (lógica).

Finalidad: Intrínseca.

Método: Actividades de lápiz y papel.

Relación con una disciplina: No.

Anclaje en contenidos: No.

Época: Positivismo lógico y concepción heredada.

Campo: Correspondencia y racionalidad. Representación y lenguajes. Intervención y método.

#### **A4.21 Introducción a los núcleos semánticos de la física**

Identificación: 21.

Autor: Juan Martínez.

Título: Ingredientes básicos para el aprendizaje contemporáneo de la física.

Idioma: Castellano.

Fuente: Martínez et al., 2001.

Formato: Presentación en congreso.

Población: Estudiantes de ciencias (secundarios y universitarios).

Contexto: Curso de ciencias (mecánica).

Finalidad: Instrumental.

Método: Actividades de lápiz y papel.

Relación con una disciplina: Sí (física).

Anclaje en contenidos: Sí (ontología de la mecánica clásica).

Época: Positivismo lógico y concepción heredada.

Campo: Correspondencia y racionalidad. Representación y lenguajes.

Esta propuesta pretende enseñar la mecánica clásica a partir de cuatro conceptos estructurantes: espacio-tiempo, materia, simetría e interacción.

#### **A4.22 Qué es y de qué se ocupa la didáctica de las ciencias**

Identificación: 22.

Autor: Elsa Meinardi.

Título: Análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias.

Idioma: Castellano.

Fuente: Meinardi, 2001.

Formato: Presentación en congreso.

Población: Profesores de ciencias (en formación).

Contexto: Curso de didáctica de las ciencias.

Finalidad: Instrumental.

Método: Discusión en pequeños grupos.

Relación con una disciplina: Sí (didáctica de las ciencias).

Anclaje en contenidos: No.

Época: Postmodernismo y visiones contemporáneas.

Campo: Todos.

Apéndice 5

**Publicaciones seleccionadas**

---