



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura

¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias? Una cuestión actual de la investigación didáctica

Agustín Adúriz-Bravo

Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales¹,
Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias,
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad de Buenos Aires.

Resumen

En este trabajo situamos nuestras investigaciones acerca de la enseñanza de la naturaleza de la ciencia al futuro y actual profesorado de ciencias naturales dentro del panorama general de esfuerzos en la misma línea, destacando en él logros y cuestiones pendientes. Presentamos nuestra propuesta de solución a la cuestión teórica de qué naturaleza de la ciencia han de saber los profesores y profesoras de ciencias; se trata de una jerarquía de niveles de concreción curricular articulados entre sí y organizados alrededor de 'campos teóricos estructurantes' procedentes de la epistemología.

Abstract

In this paper, I locate my research on how to teach the nature of science to prospective and in-service science teachers among other efforts aiming at the same objective. I highlight achievements and point at unsolved problems. I present my preliminary answer to the theoretical question of what nature of science science teachers ought to know; it is an articulated and hierarchically arranged system of curriculum planes, organised around 'structuring theoretical fields' stemming from epistemology.

¹ CEFIEC, Planta Baja, Pabellón 2, Ciudad Universitaria, Avenida Intendente Güiraldes 2160, (C1428EHA), Buenos Aires, Argentina. E-mail: adurizbravo@yahoo.com.ar

Introducción

Emergencia de una nueva componente curricular

En los últimos cincuenta años se ha producido una genuina “revolución” a nivel mundial en las formas de concebir y ejecutar la educación científica. Una serie de grandes reformas, inicialmente poco sistemáticas y con escasos fundamentos teóricos, han ido dando lugar al surgimiento de una nueva disciplina académica rigurosa, la *didáctica de las ciencias naturales* (que en inglés toma el nombre de su objeto de reflexión, *science education*). La didáctica de las ciencias, tras atravesar etapas de expansión y consolidación, ha conseguido hoy en día un lugar de reconocimiento en la universidad, empujada por la necesidad de pensar y actuar sobre la nueva finalidad proclamada de una *ciencia para todos*, que tiene su correlato teórico en el constructo de “alfabetización científico-tecnológica” (Porlán, 1998; Adúriz-Bravo, 1999/2000; Gil Pérez et al., 2000).

La producción intelectual y material de la didáctica de las ciencias está reconfigurando los currículos de ciencias naturales –en mayor o menor medida según los países– en todos los niveles de la educación formal, con especial influencia en el espacio de la secundaria obligatoria (*grosso modo* correspondiente a la etapa de escolaridad comprendida entre los 12 y los 16 años). Uno de los “trasvases” más recientes de la didáctica de las ciencias al currículo, que comenzó hace unos quince años, ha sido la generación de toda una nueva componente curricular de reflexión crítica alrededor de las ciencias naturales, componente que se conoce en general con el nombre de *naturaleza de la ciencia* (en inglés “NOS”, *nature of science*) (McComas, 1998).

Actualmente existe, en la comunidad de investigadores en didáctica de las ciencias naturales, consenso unánime acerca de que la alfabetización científico-tecnológica involucra, además de saber ciencias y en forma no menos importante, saber *sobre* las ciencias: qué son y cómo se elaboran, qué características las diferencian de otras producciones y emprendimientos humanos, cómo cambian en el tiempo, cómo influyen y son influenciadas por la sociedad y la cultura (Lederman, 1992; Matthews, 1994, 2000; Driver et al., 1996; Jiménez Aleixandre, 1996; Duschl, 1997; McComas, 1998).

A partir de este consenso, una parte importante de los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales presentes en los currículos de ciencias naturales son de segundo orden, es decir, de carácter “metadiscursivo”: de alguna forma se desprenden de las *metaciencias* (epistemología, historia y sociología de la ciencia) y pretenden generar en los ciudadanos y ciudadanas *imágenes de ciencia* más ajustadas a lo que actualmente se sabe sobre el conocimiento y la actividad científicas.

A modo de ejemplo de estos significativos cambios, podemos citar una de las prescripciones de los llamados *contenidos básicos comunes* del currículo argentino de ciencias naturales correspondiente a la etapa de secundaria postobligatoria, llamada “polimodal” (con estudiantes de edades comprendidas entre los 15 y los 18 años). Según este documento, la alfabetización científico tecnológica supone ser capaz de una

reflexión crítica sobre [el conocimiento científico-tecnológico] producido y sobre las estrategias que se emplean [para producirlo]. (MECyT, 1997: s/p)

La emergencia de esta nueva componente curricular de carácter metacientífico ha requerido por cierto adecuar estructuras, contenidos, enfoques, metodologías, materiales y textos, pero, en forma más importante aún, ha derivado en la necesidad de acercar a los futuros y actuales profesores de ciencias naturales (física, química, biología, geología) al conocimiento y a la enseñanza de unos contenidos que estaban muy poco presentes en la formación docente tradicional.

Los esfuerzos por introducir la naturaleza de la ciencia en la formación del profesorado de ciencias han tornado aún más urgente, si cabe, la discusión tendiente a *consensuar* qué contenidos son los más pertinentes y valiosos para constituir esta área. La determinación de qué naturaleza de la ciencia se ajusta mejor a una práctica profesional de calidad de los profesores y profesoras de ciencias naturales se ha instalado pues como una cuestión prioritaria en la investigación en didáctica de las ciencias. Nuestra contribución a la disciplina en los últimos diez años se ubica en esa línea. El objeto de este trabajo es presentar algunas reflexiones acerca de cuán avanzadas están las indagaciones e innovaciones alrededor de tal temática, para luego repasar rápidamente nuestras aportaciones a la discusión.

Definición operativa de la naturaleza de la ciencia

En la didáctica de las ciencias naturales coexisten actualmente distintas formas de dar sentido a la expresión un tanto genérica de “naturaleza de la ciencia”. Para algunos autores, como William McComas (1998), la naturaleza de la ciencia parece estar muy cercana a la propia reflexión sobre las ciencias establecida desde un conjunto amplio de disciplinas, y por lo tanto se homologaría al producto intelectual de los bastante heterogéneos *science studies* (“estudios sobre la ciencia”). Otra dificultad es que dentro de las metaciencias académicas se están desarrollando visiones sobre la Ciencia muy diversas, a veces incompatibles; esto supone un obstáculo a la hora de querer tomar como referencia para la naturaleza de la ciencia escolar un saber universitario establecido.

Para nuestro trabajo con profesores de ciencias, hemos decidido adoptar la siguiente definición operativa: entenderemos la naturaleza de la ciencia como un *conjunto de contenidos metacientíficos con valor para la educación científica* (Adúriz-Bravo, 2001). La amplitud de esta definición nos parece conveniente por varios motivos. Primeramente, porque sitúa la naturaleza de la ciencia en el ámbito de acción de las metaciencias, que son disciplinas de carácter netamente científico, y por tanto la hace muy compatible con las propias ciencias naturales y enseñable dentro de su espacio curricular. En segundo lugar, porque no separa estrictamente las diversas procedencias de las ideas a enseñar; estas vienen de la epistemología, la historia de la ciencia y la sociología de la ciencia principalmente, disciplinas entre las cuales una demarcación estricta es objeto de discusión incluso entre sus propios especialistas. En tercer lugar porque, al hablar de la voluntad profundamente *educativa* de la naturaleza de la ciencia, remitimos a genuinas transposiciones didácticas *funcionales* a la tarea cotidiana de los profesores de ciencias, por más que esas transposiciones se alejen bastante de sus contrapartes eruditas.

Por todo lo dicho, nos interesa recoger algunas ideas potentes para pensar sobre la ciencia, y no instalar en la educación científica la epistemología académica por sí misma, que sería objeto de enseñanza en otro espacio curricular.

En nuestra opinión, la naturaleza de la ciencia más adecuada para la práctica profesional del profesorado de ciencias debería satisfacer los siguientes requisitos:

1. Ser principalmente una reflexión de tipo *epistemológico*, ambientada en la historia de la ciencia y “advertida” por la sociología de la ciencia contra el dogmatismo y el triunfalismo del relato positivista tradicional.
2. Construir una imagen de ciencia *realista y racionalista moderada* (Izquierdo, 2000; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003; Izquierdo y Aliberas, 2004), de modo de destacar los notables logros intelectuales y materiales de las ciencias naturales sin rehuir la discusión de sus limitaciones y de sus aspectos éticos o “humanos”.
3. Sintonizar con los contenidos disciplinares, pedagógicos y didácticos que los profesores reciben durante su formación y su actividad.

Estos requisitos nos han llevado a interesarnos por una naturaleza de la ciencia centrada en el concepto de *modelo teórico*, que nos parece muy dinámico y fructífero para organizar la enseñanza de las ciencias naturales en todos los niveles educativos (Giere, 1999; Izquierdo et al., 1999; Izquierdo, 2000; Adúriz-Bravo, 2001; Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003; Gallego Badillo, 2004).

Algunas cuestiones teóricas actuales

La instalación de la naturaleza de la ciencia en el centro mismo de la educación científica ha generado en la didáctica de las ciencias una intensa actividad académica alrededor de ella. Se ha avanzado mucho en algunas líneas, por ejemplo, en caracterizar las imágenes de ciencia del sentido común, que asumen la forma de genuinas concepciones alternativas u obstáculos epistemológicos (Lederman, 1992; Driver et al., 1996; McComas, 1998). Sin embargo, aún quedan muchas cuestiones por resolver; algunas de ellas están siendo abordadas por diversos investigadores. En esta sección recogeremos tres de esas cuestiones, que creemos especialmente relevantes a la hora de llevar la naturaleza de la ciencia a la práctica profesional de los profesores de ciencias.

Cuál versus qué naturaleza de la ciencia

Podríamos decir que, inicialmente, la comunidad académica de la didáctica de las ciencias se abocó a seleccionar una naturaleza de la ciencia *preexistente*, de entre las muchas que circulan en el ámbito de la investigación metacientífica, para “acercarla” a los profesores de ciencias naturales en formación y en actividad. En este sentido, estábamos haciendo frente a una hipotética pregunta sobre *cuál* sería el modelo metacientífico más apropiado para que conocieran los profesores, en forma similar a cuando los especialistas en el currículo de ciencias naturales seleccionan algunas teorías históricas o actuales para hacerlas objeto de la educación obligatoria.

En esa primera etapa, en líneas generales, la fuente privilegiada de contenidos de naturaleza de la ciencia fue la llamada *nueva filosofía de la ciencia*, corriente de los años '60 representada por los nombres de Thomas Kuhn, Imre Lakatos y Stephen Toulmin. Un ejemplo paradigmático de esta forma de proceder es el ya clásico trabajo de Hodson (1988), que rescata ideas de esos autores mostrando el papel que pueden jugar en la enseñanza de las ciencias naturales.

Independientemente del valor intrínseco que puede tener esta escuela epistemológica para la educación científica, muchas veces la decisión de elegirla se tomó con base en dos elementos contextuales: un rechazo frontal al positivismo lógico anterior a ella y un marcado desconocimiento de las producciones posteriores.

Sin embargo actualmente vemos que se están tomando contenidos de naturaleza de la ciencia de un espectro más amplio de escuelas y autores, en consonancia con la voluntad de generar una reflexión con valor educativo y mejor ajustado a las poblaciones destinatarias. La tendencia en nuestros días es a *construir* una naturaleza de la ciencia con libertad de criterios y pragmáticamente adecuada a las necesidades de la alfabetización científico-tecnológica, pero sin por ello renunciar al rigor en la exposición de las ideas metacientíficas. Por eso hablamos de que ahora se busca dar respuesta a la pregunta de *qué* naturaleza de la ciencia hemos de formular para los profesores y profesoras de ciencias.

A nosotros nos interesan especialmente aquellas propuestas de la didáctica de las ciencias naturales que rescatan elementos potentes del positivismo lógico y de la concepción heredada, y las que abrevan en producciones recientes de la epistemología, posteriores a la nueva filosofía de la ciencia, siempre que los contenidos elegidos y combinados tiendan a generar en los estudiantes y profesores las ideas de realismo y racionalismo moderados. Nos resultan por tanto particularmente sugerentes las ideas de Mercè Izquierdo (2000), Michael Matthews (2000), Richard Duschl (1997), Sibel Erduran (2001) y Marilar Jiménez Aleixandre (1996).

Naturalezas de la ciencia para diversas finalidades

Resulta bastante evidente que la respuesta a la pregunta de qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores y profesoras de ciencias no puede ser unívoca, en tanto que necesitamos que los contenidos metacientíficos incidan en diversas dimensiones de nuestro conocimiento y de nuestra práctica profesional. Un problema de investigación actual en el área es identificar las diversas funciones que una reflexión potente sobre la ciencia puede cumplir en la formación de ciudadanas y ciudadanos autónomos, críticos, responsables y solidarios.

Con base en las propuestas de diversos autores (Matthews, 1994; Driver et al., 1996; McComas, 1998), nosotros reconocemos al menos tres finalidades fundamentales que puede desempeñar la naturaleza de la ciencia en la formación inicial y continuada del profesorado de ciencias:

1. Una finalidad *instrínseca*. La naturaleza de la ciencia ha de ser una reflexión “racional y razonable” (Izquierdo y Aliberas, 2004) sobre las propias ciencias naturales, que sirva para analizarlas críticamente desde un segundo nivel de

discurso. Por tanto, en la educación científica quedaría excluida para nosotros la presentación de formalismos abstractos *per se*, desconectados de su valor para pensar cuestiones interesantes y útiles alrededor de los dilemas que plantean actualmente la ciencia y la tecnología en nuestra sociedad.

2. Una finalidad *cultural*. Se puede trabajar la naturaleza de la ciencia desde distintas áreas curriculares (por ejemplo, las ciencias naturales junto con la filosofía, la historia, las ciencias sociales y la matemática), para destacar su valor histórico como creación intelectual humana, situando personajes e ideas en el contexto social amplio de cada época. Además, sabiendo naturaleza de la ciencia podemos generar una imagen de ciencia que se aleje de dos “ingenuidades” igualmente peligrosas: rechazarla frontalmente como una superchería que da origen a todos los males de la humanidad (posición relativista extrema) o admirarla acríticamente como un conjunto de verdades “sagradas” impuestas por la tecnocracia (posición positivista extrema).
3. Una finalidad *instrumental*. La naturaleza de la ciencia ha mostrado ser una herramienta valiosa para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de los contenidos científicos. Las metaciencias son fuente de advertencias y consejos para identificar y atacar los obstáculos didácticos más importantes que aparecen asociados a la enseñanza de los grandes modelos de la historia de la ciencia, tales como la mecánica clásica, el cambio químico o la teoría de la evolución. Un sólido conocimiento metacientífico permitiría que los estudiantes vinculen mejor los contenidos y formas de pensar de las ciencias naturales con el conocimiento del sentido común. Y por otra parte, la reflexión generada desde la epistemología proveería de herramientas, materiales y enfoques muy útiles para nuestra tarea cotidiana de enseñar ciencias en el aula.

Explicitación y contextualización de la naturaleza de la ciencia

Transformar la naturaleza de la ciencia en un objeto de enseñanza dentro de la formación inicial y continuada del profesorado de ciencias requiere prestar una atención cuidadosa a dos cuestiones complementarias de índole bastante práctica:

1. qué naturaleza de la ciencia se transmite a través de las formas de pensamiento, discurso y acción puestas en marcha en las clases de ciencias naturales, y
2. qué naturaleza de la ciencia puede aprenderse para cada nivel de madurez, riqueza y profundidad de los contenidos científicos que se meta-analizan.

La primera cuestión se conoce habitualmente como ‘explicitación’ de la naturaleza de la ciencia (Clough, 2003). Los profesores y profesoras de ciencias aprendemos naturaleza de la ciencia al tratar directamente cuestiones metacientíficas pero también a través de los formatos que asumen las actividades, los materiales y los discursos puestos en marcha durante el aprendizaje de contenidos disciplinares, pedagógicos y didácticos. Y también *enseñamos* a los estudiantes una forma de entender y valorar las ciencias naturales al presentar sus contenidos de una determinada manera. Por ejemplo, una enseñanza tradicional (memorista, dogmática y magistral) genera muy naturalmente una imagen de ciencia verdadera, incuestionable, críptica y elitista, que todavía goza de buena salud en el imaginario social y en los medios de comunicación masivos.

Contra ello, la propuesta es combinar diversos grados de explicitación de los contenidos metacientíficos, atendiendo siempre a la *coherencia* entre el discurso y la acción en los diferentes niveles de teorización. De poco sirve que los profesores o estudiantes atravesemos actividades novedosas y motivadoras para poner en duda el método científico tradicional de corte empirista si luego se nos presentan las teorías científicas como grandes tinglados conceptuales de verdades *descubiertas*, “inertes” en los libros, o se nos expone a prácticas de laboratorio con formato de “receta de cocina” con la vana esperanza de generar inducciones que generalicen y abstraigan lo observado.

La segunda cuestión es llamada a veces ‘contextualización’ de la naturaleza de la ciencia (Clough, 2003), y tiene que ver con la conveniencia ya de reflexionar sobre las ciencias “en abstracto”, ya de analizar metateóricamente contenidos científicos particulares.

Desde hace por lo menos dos décadas los profesores y profesoras de ciencias disponemos de interesantes actividades –como las de “caja negra” o las de “cambio de Gestalt” (McComas, 1998)– que nos ayudan a reflexionar (y a hacer que nuestros estudiantes reflexionen) sobre la naturaleza inferencial e hipotética del pensamiento científico y sobre la “carga teórica” que tienen las intervenciones de la ciencia sobre el mundo. Sin embargo, se ha visto que muchas veces estas reflexiones no terminan por transferirse a nuevas situaciones en las que se nos requiere pensar sobre contenidos científicos particulares, en las cuales emergen visiones del sentido común fuertemente arraigadas.

La recomendación que se desprende de las investigaciones es la de combinar diversos grados de vinculación entre las ideas de naturaleza de la ciencia revisadas y los episodios de descubrimiento o invención científicas sobre los que se puede reflexionar con ellas. Se trata de cubrir un espectro amplio que va desde la presentación de formalismos lógicos o de nociones genéricas (completamente descontextualizadas) hasta los tipos de análisis epistemológico que hemos llamado *relacionado* y *anclado* (Adúriz-Bravo, 2001, 2002), establecidos en contextos científicos particulares. Naturalmente, una reflexión metacientífica muy contextualizada requiere solvencia en el manejo de los contenidos científicos examinados.

Nuestra propuesta de formación del profesorado de ciencias en la naturaleza de la ciencia

La propuesta que hemos venido haciendo en los últimos diez años para la introducción de la naturaleza de la ciencia en la práctica profesional de los profesores y profesoras de ciencias naturales apunta principalmente a poder tomar decisiones en tres ámbitos que consideramos cruciales. Nuestro marco teórico tiene por objetivos:

1. Hacer emerger una naturaleza de la ciencia apropiada para la tarea de enseñar las ciencias naturales.
2. Construir currículo, de diferentes niveles de concreción, que difunda esta naturaleza de la ciencia entre el profesorado.
3. Diseñar estrategias didácticas para que profesores y profesoras de ciencias nos apropiemos significativamente de estos contenidos.

Trataremos brevemente estos tres asuntos a continuación. En el último apartado presentaremos una actividad didáctica que ejemplifica nuestras ideas.

Emergencia de una naturaleza de la ciencia funcional

A nuestro juicio, la pregunta de qué naturaleza de la ciencia hemos de saber como profesores de ciencias naturales se traduce en la necesidad de identificar los contenidos fundamentales, característicos y estructurantes de esta componente curricular, contenidos que hemos calificado de “irreducibles” (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003). Sin duda, estos contenidos son numerosos y diversos, pero –en una primera aproximación– podrían organizarse en siete espacios temáticos que han atravesado toda la historia de la epistemología dándole su identidad como disciplina.

Hemos llamado a tales espacios “campos teóricos estructurantes” de la epistemología (Adúriz-Bravo, 2001; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany, 2002). Los campos agrupan lo que denominamos “cuestiones” metateóricas clásicas, situadas en un nivel de organización más bajo. Las cuestiones son a nuestro juicio de gran utilidad para la tarea docente puesto que remiten a reflexiones genéricas sobre la naturaleza profunda de las ciencias naturales que se pueden establecer en las aulas de los diferentes niveles educativos. Algunos ejemplos de cuestiones serían:

1. ¿Qué relación existe entre realidad y predicación? (en el campo de *correspondencia y racionalidad*)
2. ¿Cómo cambian las ciencias en el tiempo? (en el campo de *evolución y juicio*)
3. ¿Qué distingue la ciencia de otros tipos de conocimiento y actividad? (en el campo de *estructura y demarcación*)
4. ¿Qué relaciones pueden establecerse entre la ciencia y otras manifestaciones culturales? (en el campo de *contextos y valores*)
5. ¿Cómo se hace para validar el conocimiento científico? (en el campo de *intervención y metodologías*)

Nuestra propuesta de formación del futuro y actual profesorado de ciencias en la naturaleza de la ciencia consiste, entonces, en poner en marcha unidades didácticas, en diversos espacios curriculares, para cubrir siete capítulos, cada uno centrado en un campo estructurante. La inexistencia, en el currículo tradicional de formación docente inicial, de una asignatura específica dedicada a la temática, puede ser subsanada introduciendo los contenidos de naturaleza de la ciencia en el área de la didáctica de las ciencias. Esto permitiría, además, completar la componente metacientífica con una mirada centrada en la *enseñabilidad* de las ciencias naturales (Adúriz-Bravo, 2002; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2002; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Galagovsky, 2002).

Formulación de una red de contenidos con distintos niveles de concreción curricular

Los campos estructurantes no pueden ser objeto de enseñanza en forma directa puesto que son demasiado abstractos e inclusivos y están formulados en un lenguaje técnico especializado que es desconocido para la población destinataria. Otro tanto podría decirse de las cuestiones metateóricas, que dejan planteados los problemas pero no les dan soluciones, dado que no remiten a un modelo epistemológico en particular. Es decir, los

campos y cuestiones han sido atacados por numerosos pensadores –desde Aristóteles o René Descartes hasta Mario Bunge o Alan Chalmers– que han proporcionado respuestas muy diversas según su punto de partida.

Para operacionalizar estos constructos, hemos propuesto la noción de “idea epistemológica clave”, que incide en el currículo de naturaleza de la ciencia en una forma mucho más concreta. Las ideas clave son afirmaciones sencillas sobre aspectos relevantes de la imagen de ciencia que queremos construir como profesores de ciencias; ellas suponen una toma de decisión para seleccionar una mirada epistemológica particular (el realismo pragmático, el evolucionismo, el estructuralismo, el falsacionismo sofisticado, el objetivismo...). Un ejemplo de idea clave que nos parece especialmente central para trabajar en las clases de ciencias naturales es el siguiente: *la relación entre un modelo científico y el sistema que él representa es de semejanza* (Giere, 1999).

También hemos formulado el constructo mucho más general de “aspectos” de la naturaleza de la ciencia, refiriéndonos a tres miradas teóricas posibles cuando se reflexiona sobre la ciencia: qué es (aspecto epistemológico), cómo cambia (aspecto histórico) y cómo se relaciona con la sociedad (aspecto sociológico). Sin embargo, y pese a sus nombres, no se ha de entender que cada aspecto tiene como fuente una determinada metaciencia, puesto que todas ellas los revisan en mayor o menor medida, pero con diferentes perspectivas y finalidades.

Los elementos teóricos presentados (*campos y cuestiones*, en el apartado anterior, y *aspectos e ideas*, en este) configuran una red de contenidos de naturaleza de la ciencia de generalidad descendente, situados en diferentes niveles de concreción curricular. Los elementos van organizando desde el curso completo (aspectos), pasando por el capítulo (campos) y la unidad (cuestiones) hasta llegar a la actividad didáctica propiamente dicha (ideas). El cuadro 1 proporciona el ejemplo de un *eje* de naturaleza de la ciencia en donde la idea clave se encaja en espacios supraordenados cada vez más amplios.

Elemento teórico	Ejemplo
aspecto	¿qué es la ciencia?
campo	correspondencia y racionalidad
cuestión	¿qué relación hay entre realidad y predicación?
idea	la relación entre un modelo científico y el sistema que él representa es de semejanza

Cuadro 1. Un posible eje de la naturaleza de la ciencia. La idea clave a enseñar se ubica en la parte más baja de una jerarquía de contenidos.

En los últimos años hemos venido diseñando, ajustando y evaluando actividades didácticas dedicadas al tratamiento de diversas ideas clave que consideramos de interés para el profesorado de ciencias naturales. A modo de ejemplo, podemos mencionar las siguientes:

1. *La muerte en el Nilo*. Hemos tomado una novela policial como analogía para aprender sobre el rol del razonamiento abductivo (Samaja, 1999) en la investigación científica (Adúriz-Bravo, 2003).
2. *El impertinente péndulo de Richer*. Hemos recuperado episodios históricos de la horología y de la determinación de patrones de medida en los cuales el péndulo simple jugó un papel importante (Matthews, 2000), con el fin de pensar sobre los alcances y límites de diversas reconstrucciones racionales del método científico, tanto verificacionistas como falsacionistas (Adúriz-Bravo, 2004).
3. *Pensionistas en formol*. Hemos usado un cuento fantástico para introducir la idea de que el modelo teórico organiza las observaciones y experimentaciones científicas, reconstruyéndolas teóricamente y generando relaciones inferenciales (Adúriz-Bravo, en prensa).

Estrategias para la enseñanza de esos contenidos

Hemos postulado la noción de *directriz didáctica* como recomendación teóricamente fundamentada para generar currículo de naturaleza de la ciencia en los niveles de concreción más bajos, esto es, los de las unidades y actividades didácticas (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2002). Las directrices con las que hemos venido trabajando resultan de “elevar” las prescripciones que la didáctica de las ciencias constructivista hace para la enseñanza de las ciencias naturales al nivel de la enseñanza de la naturaleza de la ciencia.

Destacaremos aquí tres directrices cuya aplicación ya ha comenzado a mostrarnos resultados positivos en algunas indagaciones preliminares (Adúriz-Bravo, 2001; Litterio et al., 2004):

1. *Uso extensivo de la historia de la ciencia como ambientación*. La reflexión sobre la ciencia, para lograr ser racional y razonable, debería establecerse sobre contenidos científicos paradigmáticos. La historia de la ciencia es una fuente de contenidos con diversos niveles de complejidad, sobre los que se puede reflexionar en forma fructífera. Se trata de una forma valiosa de contextualización de la naturaleza de la ciencia, puesto que, además, motiva a profesores y estudiantes y permite relaciones interdisciplinarias.
2. *Uso del mecanismo cognitivo y discursivo de la analogía*. El acercamiento a los contenidos de naturaleza de la ciencia, vinculados con contenidos disciplinares y didácticos, puede ser facilitado por medio del razonamiento analógico. Se trata de explorar con los profesores y profesoras de ciencias naturales situaciones conocidas (vida cotidiana, ficción, arte, enigmas) que permitan iluminar la reflexión metacientífica al establecerse las semejanzas pertinentes.
3. *Uso reflexivo de los procedimientos científicos de naturaleza cognitivo-lingüística*. Inspirados en avances recientes de la didáctica de las ciencias naturales que se inscriben en la línea de “aprender a hablar y escribir ciencia” (Sanmartí, 2003), nos interesa explorar procedimientos relacionados con *comunicar* lo que sabemos sobre la naturaleza de la ciencia. En particular, creemos que los profesores y profesoras de ciencias naturales pueden aprender a reflexionar metateóricamente en forma más significativa si ponen en marcha habilidades como la *argumentación* o la *explicación* científicas y piensan sobre ellas en forma explícita y autorregulada (Revel Chion et al., 2005).

Ejemplo de una actividad para aprender naturaleza de la ciencia

En los últimos cinco años hemos diseñado un curso completo de naturaleza de la ciencia para el futuro y actual profesorado de ciencias. Tal curso ha sido concebido y puesto en marcha en diversas versiones, con duraciones de entre cuatro y cuarenta horas. Han atravesado el curso, hasta el momento, más de 2000 profesores y profesoras de las distintas ciencias naturales de todos los niveles educativos (desde infantil hasta universidad), en cinco países (Argentina, Bolivia, Chile, Colombia y España).

Los contenidos de nuestro curso están organizados con los tres aspectos de la naturaleza de la ciencia funcionando a modo de lo que en el marco de la *enseñanza para la comprensión* se llaman “hilos conductores”, es decir, grandes metas transversales de comprensión profunda (Stone Wiske, 1999). El ejemplo de actividad didáctica que queremos presentar aquí se inscribe en el segundo hilo: examinar cómo cambia la ciencia en el tiempo.

En la actividad se revisa la cuestión de cuáles son las relaciones que se establecen entre investigación, innovación y transformación en ciencias, intersecando los campos de *evolución y juicio* y de *intervención y metodologías*. Se tiene como objetivo específico introducir la idea clave de que, en la actualidad, la ciencia y la tecnología componen una empresa intelectual y material compleja, con componentes teóricas y prácticas que se retroalimentan mutuamente, y dirigida a intervenir sobre el mundo (Estany, 1993; Echeverría, 1999).

La actividad se llama *El guiso fantasmagórico*, y se centra en una divertida anécdota que el premio Nobel de química de 1943, el húngaro (luego sueco) George de Hevesy, cuenta en un libro autobiográfico. El relato se sitúa en Manchester durante los años de juventud de de Hevesy, mientras él hacía estudios postdoctorales en el tema de la radiactividad. Se trabaja sobre esa anécdota con una reconstrucción escrita por nosotros (Adúriz-Bravo, 2005), de la cual hacemos un apretado resumen en el cuadro 2 para referencia de los lectores.

El guiso fantasmagórico
George de Hevesy, como tantos otros jóvenes que hacen sus estudios en el extranjero, pasaba penurias económicas y vivía en una pensión modesta, regentada por una extravagante y avinagrada patrona. La insalubre mediocridad del menú de la pensión llevó a de Hevesy a sospechar que la señora “reciclaba” las sobras de los platos de los pensionistas convirtiéndolas en unos guisos de consistencia deprimente. Para probar tan audaz conjetura bromatológica, el joven se trajo del laboratorio de Lord Rutherford, donde trabajaba en 1911 –año de la anécdota–, una pequeña cantidad de una sustancia radiactiva α -emisora (el entonces <i>radio-D</i> , que actualmente llamamos plomo-210); aprovechando un descuido de la dueña de casa, la añadió a las sobras de su cena, dejadas <i>ex profeso</i> sobre el plato. A los pocos días, y por medio de un aparato barato y sencillo –un electroscopio de hojitas de oro– mostró el poder ionizante del <i>soufflé</i> servido como plato principal y desenmascaró los sórdidos manejos culinarios de la ahorrativa patrona. Ella, naturalmente, se sintió morir y lo echó sin miramientos de la pensión.

Cuadro 2. Breve resumen de nuestro texto *El guiso fantasmagórico* (Adúriz-Bravo, 2005), que se utiliza como insumo para la actividad didáctica descrita en este apartado.

El objetivo es que los profesores y profesoras hagan una lectura metateórica de la primera aparición de los *marcadores radiactivos* en la historia de la ciencia a partir de ideas clave que ya se han venido manejando. Se trabaja sobre las tres preguntas que siguen:

1. ¿De Hevesy *descubre* o *inventa* los marcadores radiactivos? Argumentá tu respuesta.
2. ¿En qué momento se produce la innovación? ¿Dirías que es una innovación de naturaleza *científica* o *tecnológica*?
3. ¿Te atreves a encarar una reconstrucción abductiva del momento en que de Hevesy muestra a los incautos huéspedes el verdadero sabor de las cenas de la pensión?

Luego de resolver, comunicar y discutir esta primera tarea, examinamos la división muy difundida y un tanto arbitraria entre ciencia “pura”, ciencia “aplicada” y tecnología. Los profesores trabajan sobre narraciones históricas acerca de los inicios de la física atómica y reflexionan alrededor de las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles dirías que son los avances en ciencia pura que allanan el camino para la invención de los marcadores radiactivos?
2. ¿En qué momento se aplica este nuevo conocimiento científico a un problema real?
3. ¿Qué dificultades tecnológicas aparecen para instalar el uso sistemático de los marcadores?

La discusión generada en las dos tareas anteriores hace necesario introducir una primera aproximación a la idea clave. La reflexión metateórica se transfiere luego a un nuevo contexto histórico, el de los experimentos históricos de Geiger y Mardsen que sentaron las bases para la transición del modelo atómico de Thomson al de Rutherford. Los profesores trabajan en pequeños grupos sobre las siguientes consignas:

1. Mencioná algunas de las tecnologías implicadas en el cambio científico acaecido tras tales experimentos (es decir, la construcción del modelo atómico planetario).
2. ¿Qué avances en el conocimiento científico se desencadenaron con este nuevo modelo?
3. ¿De qué fenómenos da cuenta este modelo y no da cuenta el modelo del “budín de ciruelas”? ¿En qué sentido puede decirse que el modelo más nuevo es “mejor” que el anterior?

La actividad completa logra en los profesores y profesoras una primera aproximación al concepto epistemológico erudito de *tecnociencia*. Las dificultades de la tarea se ven en parte allanadas por el anclaje en los episodios científicos sacados de la historia, el uso de la analogía entre la investigación “de entrecasa” y la investigación científica, y la producción de argumentaciones escritas y orales.

Para terminar

En este trabajo hemos enfocado la mirada en la *enseñanza* de la naturaleza de la ciencia, que es solo una de entre las muchas posibles relaciones entre la epistemología y la didáctica de las ciencias naturales (Adúriz-Bravo, 2001; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Galagovsky, 2002). No podemos reseñar aquí, por razones de espacio, otras relaciones, tratadas extensamente por autores destacados del campo. Para obtener una idea más general del panorama actual del área de investigación didáctica conocida como “HPS” (*aportaciones*

de las metaciencias a la educación científica), se puede consultar la compilación de Matthews y colaboradores (2001).

A lo largo de este trabajo hemos hablado de la participación central que, a nuestro juicio, debería tener la naturaleza de la ciencia en la labor del profesorado de ciencias naturales. Coherentes con la idea actual de “profesionalidad” de los profesores y profesoras, no hemos distinguido tajantemente entre formación *inicial* y *continuada*, suponiendo un continuo entre ambas (Mellado, 2003). Esta aclaración es particularmente importante en el momento de transición que estamos viviendo en muchos países latinoamericanos, donde la naturaleza de la ciencia todavía no está completamente instalada en el currículo de formación docente inicial pero puede introducirse “en servicio” con muy buenos resultados.

Agradecimientos

Las ideas presentadas en este trabajo son en parte resultado de tres proyectos de investigación financiados por sendas instituciones argentinas: la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología, la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires y la Fundación Antorchas.

Referencias

- Adúriz-Bravo, A. (en prensa). La naturaleza de la ciencia en la formación de profesores de ciencias naturales, en Gallego Badillo, R., Pérez Miranda, R. y Torres de Gallego, L.N. (comps.). *De la didáctica de las ciencias de la naturaleza*. Santafé de Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Adúriz-Bravo, A. (2005). *El guiso fantasmagórico. Relato de la mítica invención de los marcadores radiactivos*. Campaña Nacional de Lectura, Colección “La ciencia, una forma de leer el mundo”. Buenos Aires: MECyT.
- Adúriz-Bravo, A. (2004). Methodology and politics: A proposal to teach the structuring ideas of the philosophy of science through the pendulum. *Science & Education*, 13(7), 717-731.
- Adúriz-Bravo, A. (2003). La muerte en el Nilo. Una propuesta para aprender sobre la naturaleza de la ciencia en el aula de ciencias naturales de secundaria, en Adúriz-Bravo, A., Perafán, G.A. y Badillo, E. (comps.). *Actualización en didáctica de las ciencias naturales y las matemáticas*, 129-138. Santafé de Bogotá: Editorial Magisterio.
- Adúriz-Bravo, A. (2002). Un modelo para introducir la naturaleza de la ciencia en la formación de los profesores de ciencias. *Pensamiento Educativo*, 30, 315-330.
- Adúriz-Bravo, A. (2001). *Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias*. Tesis doctoral. [En línea.] Publicada por el sitio *Tesis Doctorals en Xarxa* del Consorci de Biblioteques Universitàries de Catalunya. <http://www.tdx.cesca.es/TDCat-1209102-142933>.
- Adúriz-Bravo, A. (1999/2000). La didáctica de las ciencias como disciplina. *Enseñanza*, 17-18, 61-74.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2002). Directrices para la formación epistemológica del futuro profesorado de ciencias naturales, en Perafán, G.A. y Adúriz-Bravo, A. (comps.). *Pensamiento y conocimiento de los profesores. Debate y perspectivas internacionales*, 127-139. Santafé de Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional/ Colciencias.
- Adúriz-Bravo, A., Izquierdo, M. y Estany, A. (2002). Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 465-476.
- Adúriz-Bravo, A., Izquierdo, M. y Galagovsky, L. (2002). Relationships between the philosophy of science and didactics of science. *Journal of Science Education*, 3(1), 6-7.

- Clough, M. (2003). Explicit but insufficient: Additional considerations for successful NOS instruction. Trabajo presentado en la *Seventh International History, Philosophy and Science Teaching Conference*, Winnipeg, Canadá.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. y Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham: Open University Press.
- Duschl, R. (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid: Narcea. (edición original en inglés de 1990)
- Echeverría, J. (1999). *Introducción a la metodología de la ciencia. La filosofía de la ciencia en el siglo XX*. Madrid: Cátedra.
- Erduran, S. (2001). Philosophy of chemistry: An emerging field with implications for chemistry education. *Science & Education*, 10(6), 581-593.
- Estany, A. (1993). *Introducción a la filosofía de la ciencia*. Barcelona: Crítica.
- 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.
- Gallego Badillo, R. (2004). Un concepto epistemológico de modelo para la didáctica de las ciencias experimentales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), artículo 4. [En línea.] http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen3/Numero3/ART4_VOL3_N3.pdf
- Giere, R. (1999). Del realismo constructivo al realismo perspectivo. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 9-13.
- Gil Pérez, D., Carrascosa Alís, J. y Martínez Terrades, S. (2000). Una disciplina emergente y un campo específico de investigación, en Perales, F.J. y Cañal, P. (comps.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, 11-34. Alcoy: Marfil.
- Hodson, D. (1988). Filosofía de la ciencia y educación científica, en Porlán, R., García, J.E. y Cañal, P. (comps.). *Constructivismo y enseñanza de las ciencias*, 7-21. Sevilla: Díada. (edición original en inglés de 1985)
- Izquierdo, M. (2000). Fundamentos epistemológicos, en Perales, F.J. y Cañal, P. (comps.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, 35-64. Alcoy: Marfil.
- Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.
- Izquierdo, M. y Aliberas, J. (2004). *Pensar, actuar i parlar a la classe de ciències. Per un ensenyament de les ciències racional i raonable*. Bellaterra: Servei de Publicacions de la UAB.
- 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, 79-92.
- Jiménez Aleixandre, M.P. (1996). *Dubidar para aprender*. Vigo: Edicions Xerais.
- 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.
- Litterio, V., Simón, J. y Adúriz-Bravo, A. (2004). Diseño y evaluación de actividades para aprender sobre la naturaleza de la ciencia en biología de secundaria, en *III Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales. Desafíos y expectativas de la educación en ciencias experimentales en el siglo XXI. Resumen de ponencias*, CD-ROM, s/n. Ciudad de Guatemala: Universidad de San Carlos.
- 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. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. Nueva York: Routledge.
- Matthews, M., Bevilacqua, F. y Giannetto, E. (eds.) (2001). *Science education and culture: The role of history and philosophy of science*. Dordrecht: Kluwer.
- MECyT (Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la República Argentina) (1997). *Contenidos básicos comunes para la educación polimodal. Ciencias naturales*. [En línea.] <http://www.me.gov.ar/consejo/documentos/cbc/polimodal/cbcep/cienat.txt>
- Mellado, V. (2003). Cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales y filosofía de la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 343-358.

- McComas, W. (ed.) (1998). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer.
- Porlán, R. (1998). Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), 175-185.
- Revel Chion, A., Couló, A., Erduran, S., Furman, M., Iglesia, P. y Adúriz-Bravo, A. (2005). Estudios sobre la enseñanza de la argumentación científica escolar. Trabajo aceptado para el *VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias*, Granada, España.
- Samaja, J. (1999). *Epistemología y metodología. Elementos para una teoría de la investigación científica*. Buenos Aires: Eudeba.
- Sanmartí, N. (coord.) (2003). *Aprender ciències tot aprenent a escriure ciència*. Barcelona: Edicions 62.
- Stone Wiske, M. (comp.) (1999). *La enseñanza para la comprensión*. Buenos Aires: Paidós. (edición original en inglés de 1998)