

## Epistemología para el profesorado de física: Operaciones transpositivas y creación de una “actividad metacientífica escolar”

Agustín Adúriz-Bravo

Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales  
Instituto de Investigaciones Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires  
aadurizbravo@cefiec.fcen.uba.ar

*En este trabajo presento y discuto lo que llamo “directrices didácticas”: los lineamientos que subyacen a la construcción de un programa innovador para una asignatura obligatoria de epistemología dirigida a la formación inicial del profesorado de física. Las reflexiones teóricas que realizo me llevan a plantear –a modo de hipótesis– que la epistemología puede enseñarse significativamente, dentro del área curricular de ciencias naturales, como una genuina “actividad metacientífica escolar”. Para conseguir tal fin, resulta necesario establecer una serie de “operaciones transpositivas” que transformen la epistemología erudita en lo que se conoce como naturaleza de la ciencia, entendida esta como una componente valiosa de la educación científica de calidad para todos y todas.*

**Palabras clave:** epistemología, formación del profesorado de física, naturaleza de la ciencia, actividad metacientífica escolar, operaciones transpositivas.

*In this paper I present and discuss what I call ‘instructional guidelines’: the indications that underlie the construction of an innovative programme for a compulsory subject on the philosophy of science aimed at pre-service physics teacher education. The theoretical reflections that I produce lead me to state –as a hypothesis– that the philosophy of science can be meaningfully taught, within the science curriculum, as a genuine ‘school meta-scientific activity’. To achieve this, it is necessary to establish a series of ‘transpositional operations’ that transform academic philosophy of science into what is known as the nature of science, understood as a valuable component of scientific literacy.*

**Keywords:** philosophy of science, physics teacher education, nature of science, school meta-scientific activity, transpositional operations.

### Introducción

En este trabajo me propongo exponer y discutir las *directrices didácticas* que guiaron la construcción (y, en menor medida, la implementación) de un programa innovador para una asignatura de epistemología (o filosofía de la ciencia) dirigida al profesorado de ciencias. Llamo “directrices” (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2002) a las recomendaciones generales para el *diseño* de la actividad profesional docente que están inspiradas por, o explícitamente apoyadas en, los resultados provenientes de la investigación actual en didáctica de las ciencias naturales. En este sentido, considero la didáctica

como la “ciencia de enseñar ciencias” o la “ciencia del profesorado de ciencias” (Izquierdo-Aymerich, 2007), la disciplina que permite diseñar una genuina *actividad científica* –y, como se verá más abajo, también *metacientífica– escolar* (cf. Izquierdo-Aymerich, 2000, 2004, 2005, 2007; Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003).

La asignatura<sup>1</sup> cuyo programa examino aquí tiene como población destinataria a profesores y profesoras de física para el nivel secundario y superior no universitario que están atravesando su formación inicial en una carrera de grado específica dictada en una universidad pública argentina. La innovación que suscita las re-

flexiones que expongo en las páginas que siguen surge compelida por la necesidad de proponer un nuevo programa para esa asignatura, que atienda simultáneamente a lo que sabemos y queremos desde la propia didáctica de las ciencias naturales y a las particulares “condiciones de contorno” en las que se desarrolla la formación epistemológica del profesorado aquí relatada.

Los fundamentos para las reflexiones teóricas que comparto en este trabajo provienen de la experiencia acumulada de quince años de investigación, innovación, docencia y extensión en la línea de la enseñanza de la epistemología al profesorado de ciencias en formación y en actividad para todos los niveles educativos (ver, por ejemplo, Adúriz-Bravo, 2005a, 2005b, 2005c, 2005d, 2007a, 2007b, 2007c, 2008a). Así, la discusión de las directrices utilizadas en el diseño del programa innovador me permite atacar –desde una perspectiva teórica– el problema de la creación de una auténtica “didáctica de la epistemología” (Adúriz-Bravo, 2001) hecha desde el campo de la didáctica de las ciencias naturales.

La epistemología se ha enseñado –dentro de la educación obligatoria y post-obligatoria– en el marco de diversas áreas curriculares; entre ellas, la filosofía, las ciencias sociales, las humanidades y las propias ciencias naturales (en este último caso, con el nombre usual de “naturaleza de la ciencia”). La presencia de los contenidos epistemológicos en el currículo entendido como “mandato social” requiere de reflexión explícita y fundamentada acerca de la problemática de su enseñanza, reflexión que es de carácter *metafilosófico*<sup>2</sup> (Adúriz-Bravo, 2008b) y que puede y debe realizarse desde nuestra disciplina (la didáctica de la física) para el caso particular de la naturaleza de la física.

En este trabajo argumento que la emergencia de una didáctica de la epistemología hecha desde la didáctica de las ciencias naturales conduce a la necesidad de plan-

tear una serie de *operaciones transpositivas* que permitan llevar desde el saber erudito de referencia a una *metaciencia*<sup>3</sup> *escolar* con valor educativo, es decir, a un contenido curricular que constituya una aportación significativa a una educación científica de calidad para todos y todas, cuyo objetivo principal sea la formación de ciudadanía (cf. Adúriz-Bravo, 2007b, 2007c).

### **Formación epistemológica del profesorado de física**

Desde el famoso “acercamiento” de la didáctica de las ciencias naturales a la epistemología señalado por el didacta de las ciencias australiano Michael Matthews (1994a) a fines del siglo pasado, se ha venido acumulando un no despreciable volumen de literatura en torno a la formación epistemológica del profesorado de ciencias (cf. Lederman, 2007: especialmente 838-842, 845-857). Es esta literatura la fuente para las puntualizaciones que hago en los próximos apartados.

#### *Algunos puntos de consenso*

Dentro de la didáctica de las ciencias naturales existe amplio acuerdo acerca de que es necesario de que los profesores y profesoras que enseñan esas ciencias en los diferentes niveles educativos reflexionen acerca de la naturaleza de la ciencia, es decir, se pregunten acerca de *qué es* la ciencia a enseñar (Izquierdo-Aymerich, 2000; Izquierdo-Aymerich et al., 2004). Como reflejo de la preocupación por esa naturaleza profunda –o “esencia”– de la ciencia, aparece en la didáctica un área de reflexión sistemática sobre el tema, área que lleva el mismo nombre y a la que es común referirse con el acrónimo inglés NOS (por “nature of science”) (cf. Matthews, 1994b; McComas, 1998; Adúriz-Bravo, 2005d; Flick y Lederman, 2006).

En los distintos niveles educativos – desde el inicial hasta el universitario– también se cuela la pregunta sobre “qué es esa cosa llamada ciencia” (utilizando la frase del célebre epistemólogo residente en Australia Alan Chalmers) y esto genera, como mencioné más arriba, la emergencia de una nueva área curricular de gran empuje dentro del propio currículo de ciencias naturales. A la hora de buscar lo que podríamos llamar un “saber de referencia” (cf. Martinand, 1989) para esa naturaleza de la ciencia escolar (diseñada para estudiantado y profesorado), también parece haber bastante consenso acerca de que las metaciencias –la epistemología, la historia de la ciencia y la sociología de la ciencia principalmente, y quizás algunas otras– constituyen una fuente obligada a la que se ha de recurrir (cf. McComas et al., 1998: 4, que hablan de la naturaleza de la ciencia como un “fértil campo híbrido”). Tal fuente se ha de *transponer* para crear un contenido educativo que se condiga con la diversidad de finalidades planteadas en el contexto específico del que estamos hablando.

Ahora bien, en muchos modelos perimidos y vigentes de formación inicial y continuada del profesorado de ciencias se ha ensayado la inclusión de una o más asignaturas de metaciencias (comúnmente, de epistemología y de historia de la ciencia), pero presentadas de una forma más bien convencional, similar a la que es usual en la formación de filósofos e historiadores. En el caso de la epistemología, el enfoque más extendido es el de una *historia de la epistemología* con mayor o menor extensión (comenzando por los griegos clásicos; o bien en el siglo XVIII, con el debate empirismo-racionalismo; o ya en el siglo XX, con el establecimiento del Círculo de Viena). En este enfoque, la estrategia más común es la lectura y comentario de textos originales de epistemólogos reconocidos y de fuentes secundarias que los analizan.

A este tipo de estrategia se la puede calificar de “exegética”<sup>4</sup>; en ella, la referencia académica se transpone solo muy tímidamente, y por tanto parece alcanzar un valor limitado en términos de su *funcionalidad* (Adúriz-Bravo, 2001), es decir, su capacidad para apoyar la tarea de enseñar ciencias en las aulas. Por tanto, aquí me sitúo en la necesidad de crear un objeto de enseñanza que cumpla con las finalidades que se le imponen, siendo una no menor de entre ellas la capacidad de incidir positivamente en la *profesionalidad* del profesorado de ciencias naturales.

#### *Algunos puntos de debate*

La mayor parte de los didactas de las ciencias naturales que trabajan en el tema de la naturaleza de la ciencia consideran que las metaciencias eruditas –como disciplinas académicas establecidas– constituyen una referencia insoslayable a la hora de crear contenidos en esta línea. Sin embargo, persisten discusiones acerca de si solo las metaciencias han de participar de la constitución de esa NOS, o si debe recurrirse también otros saberes disciplinares y no disciplinares (por ejemplo, el campo ciencia-tecnología-sociedad [CTS], los estudios sociales de la ciencia y de la tecnología, o la ética de la ciencia).

También permanece en disputa el lugar de la epistemología en el concierto de las diferentes metaciencias que “forman” la NOS: si ha de ser la contribución principal (cf. Adúriz-Bravo, 2005c, 2005d) o, por el contrario, subordinarse a miradas más históricas, sociológicas, éticas, de tipo CTS o pedagógicas. Otro debate casi crónico y muy acalorado se da en torno a cuál ha de ser la epistemología que forme el “núcleo” de la NOS: de qué períodos y escuelas de la disciplina extraerla, qué enfoque darle, qué autores y textos utilizar (cf. Alters, 1997).

Una última discusión que considero importante señalar aquí, que es quizás más reciente, se refiere a la cuestión de si la

naturaleza de la ciencia para el profesorado (y también para el estudiantado) ha de presentar saberes disciplinares establecidos y “cerrados” o solo plantear buenas preguntas, pero dejando abierto el espacio para un “arco” de respuestas posibles, reflejando de esta manera una característica central de toda empresa de carácter filosófico (cf. Clough, 2008; Couló, 2008).

### *Los profesores y profesoras y la epistemología*

Una toma de decisión inicial y fundamental a la hora de formar epistemológicamente a los futuros (y actuales) profesores/as de física es la de explicitar el alcance de la expresión de “epistemología de la física para el profesorado”, es decir, determinar qué tipo de contenidos epistemológicos es más valioso para esta población-blanco. En este sentido, algunas de las opciones posibles son:

1. *Epistemología con física.* En este primer caso, la expresión refiere a una epistemología general (o, al menos, una aplicable a *todas* las ciencias naturales, dejando de lado las ciencias formales y las ciencias sociales); en la mejor de las situaciones, *relacionada* (Adúriz-Bravo y Erduran, 2003) con los contenidos de física a través de los ejemplos examinados y discutidos.

2. *Epistemología de la física.* En este segundo caso, se quiere hacer referencia a una genuina epistemología desde o para la física (epistemología que podemos llamar “específica”, “regional” o “anclada”: cf. Estany, 1993; Adúriz-Bravo, 2001; Adúriz-Bravo y Erduran, 2003; Erduran et al., 2007), es decir, una epistemología construida para dar cuenta de las particularidades de esta ciencia y de sus diferencias con la química, la biología, etc.

3. *Epistemología para enseñar física.* Una epistemología “hibridada” con la reflexión didáctica que sea funcional para la enseñanza de la física, al menos en dos

sentidos principales: 1. que de alguna manera retome los contenidos que los profesores/as deberán a su vez presentar en sus aulas; y 2. que suscite entre el profesorado reflexiones acerca de la naturaleza de la física valiosas para enseñarla mejor (lo que Erduran y colaboradores [2007] llaman “empoderar epistemológicamente” a los profesores/as de ciencias).

Ahora bien, existen gran cantidad de trabajos que muestran que el futuro profesorado de física, como tantas otras poblaciones (profesores de otras ciencias naturales, estudiantado, público general, científicos), llega a su preparación con una comprensión de la naturaleza de la ciencia que es –cuando menos– “inadecuada” desde el punto de vista de las actuales competencias deseables prescritas en los currículos de ciencias naturales a nivel internacional (cf. Pomeroy, 1993; Sperandeo-Mineo, 1999). Estos diagnósticos pesimistas llevan a la necesidad de orquestar dispositivos para la enseñanza significativa de esta nueva componente curricular, superando la tradicional inclusión exegética de las metaciencias en la formación inicial.

Frente a este desafío aparece también el reconocimiento de que el saber “meta-” es difícil de enseñar a causa de su especificidad propia: la de ser una reflexión de segundo orden y crítica sobre los contenidos de física. En este sentido, discusiones ya clásicas en torno al tema son “cuánta” física se ha de saber para poder luego pensar acerca de ella con el utillaje epistemológico, y si la consideración de la naturaleza de la física se puede establecer en paralelo con el aprendizaje de la física o es necesariamente posterior, cuando se ha alcanzado cierto grado de “madurez”.

Además se ha argumentado que una inadecuada componente NOS tiene consecuencias negativas en el resto del *saber profesional del profesorado* (disciplinar, pedagógico, didáctico, curricular, sobre el

aprendizaje, etc.), debido al enorme poder estructurador de esa componente (cf. Adúriz-Bravo et al., 2001; Perafán y Adúriz-Bravo, 2002; Mellado, 2003; Perafán, 2003).

Por otra parte, el contexto particular en el que se genera la innovación que discuto en este trabajo es el de una carrera universitaria de formación inicial de profesorado dictada en una Facultad<sup>5</sup> donde se hace investigación de punta en didáctica de las ciencias naturales y donde hay una línea específica de trabajo acerca de las aportaciones de las metaciencias a la educación científica. Esa Facultad, a su vez, se caracteriza principalmente por el dictado de carreras vinculadas a “ciencias duras” con gran prestigio académico, donde los Profesorados no son una prioridad y las reflexiones de cariz metateórico no están generalizadas en las Licenciaturas.

Por tanto, en ese contexto particular se suman, a las constataciones generales que he discutido antes, una serie de limitantes que son propias de la institución y de su propuesta formativa:

1. En primer lugar, solo hay “espacio” para el dictado de epistemología –además de en la asignatura *Epistemología de la Física*, que es la que aquí reviso– en las asignaturas *Introducción al Pensamiento Científico* del Ciclo Básico Común (CBC), *Didáctica Especial y Práctica de la Enseñanza I y II para Físicos* y, en mucha menor medida, en *Historia de la Ciencia y Psicología y Aprendizaje*. Vale decir que el contacto de los futuros profesores/as de física con estos contenidos está mayormente limitado a un semestre.

2. *Epistemología de la Física* a menudo viene después de una formación disciplinar “monolítica”, en la que las reflexiones de segundo orden sobre la ciencia aprendida son limitadas en extensión y profundidad y, en general, desaconsejadas o desvalorizadas.

3. Suponer algunos prerequisites resulta abusivo, dada la escasez de contenidos epistemológicos en el nivel medio y pre-universitario y las usuales formas de trabajo, que podríamos considerar “didácticamente tradicionales”. Por tanto, de alguna manera se “parte desde cero” en la reflexión epistemológica formalizada, a la vez que, como dije, se “lucha” contra concepciones metacientíficas ingenuas muy arraigadas socialmente (entre ellas, una no menor es la creencia a pies juntillas en el infame “método científico”: Adúriz-Bravo, 2008c).

Sin embargo, el contexto en el que trabajo genera unas *condiciones de posibilidad* muy interesantes a lo largo de otros ejes de análisis, a saber:

1. Como es usual en la docencia universitaria, hay una gran libertad para reformular el programa y para ensayar abordajes y estrategias innovadores, que además se pueden vincular con la producción investigativa de quienes estamos a cargo de la asignatura.

2. El estudiantado de la carrera del Profesorado de física viene con una formación disciplinar de alta calidad que es capaz de “soportar” reflexiones metateóricas muy sofisticadas.

3. El dictado de esta asignatura se enmarca en el ámbito más que favorable del CeFIEC, con la posibilidad de sinergias productivas y de articulación exitosa con contenidos de las didácticas específicas.

4. La reforma de la asignatura se hace desde el corpus teórico-metodológico provisto por dos décadas de investigación NOS; buena parte de ese corpus, además, no es meramente “importada” y libresca, sino producción regional y local fuertemente adecuada a los requerimientos del contexto.

### **Directrices para la formación epistemológica del profesorado de física**

Lo que llamo directriz se genera en el propio funcionamiento académico de la didáctica de las ciencias naturales como disciplina consolidada. Las directrices provienen de la actividad didáctica teórica y empírica, pura y aplicada, tanto propia – dentro del grupo de investigación GEHyD– como ajena, acumulada por una comunidad que está actualmente muy activa pero que sin embargo es muy joven. En este sentido, la línea NOS se nos aparece como una línea con algún trayecto recorrido, pero con mucho por hacer todavía. Entiendo las directrices como *hipótesis de trabajo* (cf. Meinardi et al., 2003) que, según el lenguaje en boga en nuestro campo, están “informadas por la investigación” o “basadas en la investigación” (cf. Buty et al., 2004; Méheut y Psillos, 2004). Las directrices como hipótesis permiten un “programa de diseño” fundamentado para la tarea de enseñar un campo disciplinado de contenidos.

En lo que sigue, hago una presentación y una discusión introductorias de las cinco principales directrices que me permitieron el (re)diseño<sup>6</sup> de una epistemología para el profesorado de física en el sentido acotado para este artículo. Cada una de esas directrices abre un frente de trabajo explícito al interior de la problemática de enseñar epistemología a profesores/as.

*Directriz 1: La epistemología debería tomarse como la componente central de la formación NOS del profesorado de física*

Como esbocé más arriba, aún está en discusión el lugar apropiado que cabe dar a la epistemología dentro de la conformación de una naturaleza de la ciencia con valor educativo. Aquí parto del supuesto de que la NOS debería ser primordialmente *una mirada epistemológica sobre la ciencia*. Considero esto dado que la epistemología es la disciplina metacientífica

más específica, de alguna manera creada “a medida” de su objeto, y, por tanto, la *metaciencia por excelencia* (cf. Klimovsky, 1994). Atendiendo a este supuesto, la asignatura de epistemología que estos docentes recibirán debería pasar a tener un lugar protagónico en su trayecto formativo.

Ahora bien, la epistemología a enseñar no debería perder el rigor necesario para operar como una herramienta de pensamiento, discurso y acción para trabajar desde el *contexto de evaluación de la ciencia* (Echeverría, 1995), pero al mismo tiempo debería estar fuertemente transpuesta para alcanzar los objetivos educativos de los que se la quiere investir en este contexto. En este sentido, necesitamos aplicar criterios que son primordialmente *didácticos*. Por supuesto que se impone el respeto por la referencia epistemológica “erudita”, pero de alguna manera supeditado a: 1. la *significatividad*: que la naturaleza de la ciencia cobre sentido para sus destinatarios; 2. la *funcionalidad*: que la naturaleza de la ciencia sea un insumo profesionalizante de la práctica de enseñar; 3. la *consistencia* con los demás aspectos de la formación que el profesorado recibe; y 4. la *coherencia* con la práctica didáctica fomentada desde este espacio formativo.

*Directriz 2: La epistemología debería constituirse en un “patrimonio cultural colectivo” insoslayable en la formación del profesorado de ciencias*

Existe cierta tendencia en la investigación NOS actual a denostar algunos contenidos de la epistemología. Las aportaciones genéricamente calificadas de “positivismo” (que abarcan desde el *Órganon* aristotélico hasta el Círculo de Viena, pasando por el cartesianismo o los positivistas decimonónicos) están siempre bajo sospecha, y se las acusa de apoyar una enseñanza de las ciencias “tradicional”: magisterial, expositiva, científicista, etc.

Sin embargo, se podría pensar que muchas escuelas epistemológicas (cf. Adúriz-Bravo et al., 2006) tienen elementos que se pueden rescatar para la formación. En este sentido, buena parte de la epistemología del siglo XX sería valiosa, en especial si se toma aquella que fue creada para *dar sentido* a las ciencias naturales como producto y como proceso. Me interesa particularmente la producción que es *moderadamente realista y racionalista*, es decir, una “tercera vía” entre la reconstrucción dogmática y la reconstrucción relativista, ambas poco productivas para la escuela. Esta producción, a mi juicio, sintonizaría con una concepción de ciencia humanista y anticientificista, que considero profundamente formativa a la luz de las demandas curriculares actuales.

*Directriz 3: La epistemología debería insertarse en un sistema de relaciones con otras disciplinas*

La epistemología, al ser enseñada como un campo académico cuyo valor *per se* nadie pone en duda, corre el peligro de transformarse en un ejercicio de erudición si no es utilizada con una “finalidad intrínseca” (Adúriz-Bravo, 2001): como utillaje extremadamente afinado para pensar *sobre* la ciencia. Ahora bien, a fin de asumirse como una auténtica “ciencia de la ciencia”, la epistemología debería relacionarse con la propia física erudita y con su contraparte escolar (producto del proceso de transposición didáctica, y objeto de enseñanza en las aulas); con la didáctica de la física, en donde se inserta la línea NOS; con otras metaciencias (principalmente, la historia y la sociología de la ciencia, que la complementan); con el conjunto de saberes profesionales del profesor/a, a los cuales sirve de “superestructura”; y con otras disciplinas y áreas curriculares, con el objetivo de conseguirse un trabajo interdisciplinario fructífero<sup>7</sup>.

*Directriz 4: La epistemología debería asumirse –desde una visión naturalizada– como una disciplina fáctica o empírica*

El movimiento por la naturalización de la epistemología, en la segunda mitad del siglo XX, supuso un intento de alejamiento de las reflexiones aprioristas “de sillón” (cf. Garber, 1986) en relación con la ciencia en pos de mirar más de cerca la actividad científica para poder predicar sobre ella. En mi opinión, asumir este “giro” en toda su profundidad implica considerar que la epistemología es –al menos parcialmente– una disciplina fáctica o empírica, es decir, que habla de los “hechos del mundo”. En este sentido, sitúo la epistemología en parte entre las ciencias sociales, aunque es una ciencia ligeramente “diferente”, debido a su carácter metadiscursivo respecto de las demás ciencias. Vale decir, su objeto es muy particular, ya que lo constituye la ciencia como empresa humana, o las ciencias (el conjunto de las disciplinas aceptadas actualmente), o alguna ciencia en concreto.

Así, según la reconstrucción *semántica* a la que adhiero (cf. Giere, 1992; Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009), la epistemología está constituida por “modelos teóricos”. Esos modelos se construyen con la intención de dar sentido a la ciencia, y la construcción y el uso de tales modelos para explicar la actividad científica y los productos derivados de ella es, a su vez, una actividad (meta)científica.

*Directriz 5: La epistemología debería pensarse como un saber capaz de estructurar las distintas componentes del conocimiento profesional del profesorado de física*

Como dije más arriba, son varios los autores que plantean que la epistemología es una componente notablemente estructuradora del conocimiento profesional del profesorado de ciencias. Se hipotetiza que esto sucede porque la mirada metacientífica provista por ella sirve a una pluralidad de finalidades (cf. Driver et al., 1996) y

habilita a una mirada menos complaciente y más crítica sobre la ciencia, que es el “objeto de trabajo” del profesorado. Además, la epistemología provee los fundamentos para el proceso de creación de la física escolar (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003), proceso que es, en muchos aspectos, responsabilidad de los profesores/as.

### **La didáctica de la epistemología dentro de la educación científica**

En esta última sección caracterizo y encuadro el proceso de transposición (Chevallard, 1991) de la epistemología para hacerla enseñable dentro del currículo de ciencias, y ejemplifico el posible resultado de esa transposición a través de una unidad didáctica.

#### *Operaciones transpositivas para la creación de una “metaciencia escolar”*

Asumo como postulado de partida que la epistemología que deberíamos enseñarles a los futuros profesores y profesoras de física es el producto de un proceso de transposición didáctica constituido por una serie de *operaciones transpositivas*, entendiendo estas como los artefactos intelectuales específicos e *intencionados* que nos permiten transformar el conocimiento epistemológico tal cual este es en el ámbito académico en un objeto enseñable y aprendible *en y para* el contexto particular que nos ocupa.

Así, considero que la selección y la aplicación de estas operaciones transpositivas está encuadrada en las directrices que expuse en la sección anterior y guiada por determinadas finalidades y valores de naturaleza profundamente educativa. Vale decir, se trata de buscar siempre que el producto “transpuesto” generado por el proceso promueva en el estudiantado (en este caso, profesorado en formación) una

auténtica “actividad metacientífica (o epistemológica) escolar”.

Para llevar adelante la transposición, creo que resulta fundamental utilizar diversos enfoques, abordajes, estrategias y dispositivos didácticos, ya aceptados dentro de la comunidad, que apuntalen una enseñanza significativa de la epistemología. Aquí incluyo, entre otras cosas, el trabajo con competencias cognitivolingüísticas, modelización, analogías, narrativa, argumentación, inferencias, debates, metacognición (Adúriz-Bravo, 2002).

En los siguientes párrafos describo compactamente cinco de las grandes “constricciones” que impongo a las operaciones transpositivas que realizo sobre la epistemología erudita con el fin de generar un programa de asignatura que apunte a contribuir a la profesionalización docente en física.

#### *Constricción 1: El para qué de la actividad epistemológica del profesorado “arrastra” el qué y el cómo*

Podríamos apoyar la didáctica de la epistemología para el profesorado de física en las clásicas “preguntas curriculares” que dan sentido a la enseñanza de esa asignatura al ser aplicadas y especificadas sobre el contenido metacientífico (Adúriz-Bravo, 2001):

1. *Para qué enseñar epistemología al profesorado de física:* tendríamos que preguntarnos primeramente cuáles son las finalidades deseables de una epistemología para la enseñanza de la física. Esas finalidades, una vez determinadas, “demandarían” unos determinados contenidos y “suggerirían” el uso de unas determinadas estrategias.

2. *Qué epistemología enseñar al profesorado de física:* habría que promover sanas cuotas de pragmatismo y eclecticismo sin caer en fenómenos de “sustitución patológica” (Chevallard, 1991), donde el contenido, tras la transposición, queda

distorsionado e irreconocible y resulta imposible “recuperar” la referencia epistemológica.

3. *Cómo enseñarle epistemología al profesorado de física*: se tendrían que hacer esfuerzos por buscar la coherencia entre el discurso y la acción; en este sentido, una *racionalidad hipotética* (que adecua medios a fines) buscaría en las didácticas específicas “pistas” sobre las metodologías más adecuadas para que se aprenda comprensivamente.

*Constricción 2: La actividad epistemológica del profesorado está dirigida a dar sentido a los hechos del mundo provistos por la historia de la ciencia*

Si sostenemos la idea de una “ciencia racional y razonable” (cf. Izquierdo-Aymerich et al., 2004) también para el caso de la epistemología, ello implica que esta disciplina se pueda utilizar activamente para dar sentido a unos hechos del mundo. Es en esta línea en la que se ubica la definición de NOS que esboqué más arriba: básicamente, una mirada epistemológica, constituida por lo que llamo “ideas epistemológicas clave”, entendidas como herramientas *práxicas*. Tales ideas se ambientan en la historia de la ciencia y son advertidas por la sociología de la ciencia contra el cientificismo y el dogmatismo del discurso tradicional, positivista en sentido amplio (Adúriz-Bravo, 2011).

*Constricción 3: El “tamiz” para seleccionar problemas, enfoques, teorías, conceptos, ejemplos, etc., para la actividad epistemológica del profesorado es la noción de modelo teórico*

Adherir de lleno a la llamada “visión basada en modelos” propuesta por la concepción semántica de las teorías científicas (ver, por ejemplo, la versión de Ronald Giere [1992]) nos habilita a una determinada conceptualización de la actividad epistemológica escolar. Según este marco teórico, tal actividad se dirigiría a favore-

cer una visión profundamente humana de las ciencias naturales con los siguientes toques: se trataría de una práctica social *modeloteórica*, naturalizada, semántica, moderadamente realista y racionalista, y organizada en torno a “casos” paradigmáticos de descubrimiento o invención científica. Así, una didáctica de la epistemología “basada en modelos” reconoce los modelos teóricos epistemológicos famosos, adecuadamente transpuestos, como lo más esencial e “irreducible” de la actividad metacientífica escolar<sup>8</sup>.

*Constricción 4: La actividad epistemológica del profesorado se dirige a la profesión de enseñar física*

Si se busca un cierto “parecido de familia” wittgensteiniano entre las metaciencias, se puede llegar a decir que todas ellas participan de una naturaleza metadiscursiva, evaluativa y crítica, y además se originan en mayor o menor medida en lo que llamo el “cinturón metateórico” (Adúriz-Bravo, 2001) de las propias ciencias naturales. De acuerdo con esto, la mirada didáctica específica sería *también* metacientífica. Por tanto, epistemología y didáctica de las ciencias naturales quedarían en cierta posición de simetría en la “episteme” metateórica, relacionándose entre sí de varias maneras complejas y alimentándose mutuamente; es decir, una y otra disciplina podrían aportarse fundamentos teóricos y problemas para la reflexión (Adúriz-Bravo, 2001). Es este entrecruzamiento rico y fructífero el que me interesa explorar en la formación inicial del profesorado.

*Un ejemplo de actividad metacientífica escolar*

Este último apartado, breve, está dedicado a “aterrizar” las reflexiones teóricas precedentes. Reseño aquí una unidad didáctica que diseñé para que futuros profesores de física puedan usar –de manera flexible y productiva, y a la vez desafiante– ideas epistemológicas clave a fin de

pensar desde un nivel “meta-” en aspectos concretos de la ciencia; es esto lo que llamé, a lo largo de este trabajo, actividad metacientífica escolar.

La unidad lleva por título *El gigante de Balvanera* (cf. Seroglou y Adúriz-Bravo, 2007, 2008). Está basada en el mito tal-múdico del Gólem: la creación de un hombre artificial de arcilla por parte de Judah Ben Bezalel, el Rabino Löw, “Maharal” de Praga, durante el Reinado del Emperador Rodolfo II, a fines del siglo XVI. La idea central de la actividad es la del *poder demiúrgico de la palabra*: que, a través del *logos*, somos capaces de generar y controlar realidades.

Primeramente, trabajamos con diversas reconstrucciones del mito del Gólem: una adaptación de la versión “oficial” de Sholem Aleijem, la película expresionista alemana, el famoso poema de Jorge Luis Borges (1964), un episodio de *Los Simpson*, una leyenda urbana porteña (que es la que da nombre a esta actividad). El mito, y el hecho de que los sociólogos de la ciencia británicos Collins y Pinch (1996) utilizan al Gólem como metáfora canónica de la ciencia, me sirven como plataforma para examinar críticamente la relación entre la actividad científica, los científicos y los demás actores sociales. Así, exploramos cuestiones tales como la recurrencia de la figura del Gólem en la modernidad (Frankenstein, el Doppelgänger, Pinocho, Blanderunner...), los vínculos entre creador y creación (con la responsabilidad ética y social que ellos comportan), la supuesta neutralidad de la ciencia frente a sus usos “aberrados”, las posibilidades y límites de la llamada *tecnociencia* contemporánea.

El refinado y complejo poema de Borges, escrito en el año 1958, me permite profundizar en esas cuestiones con los profesores/as de física en formación. Vayan como muestra dos de sus fragmentos más significativos:

*El rabí lo miraba con ternura  
y con algún horror. “¿Cómo” (se dijo)  
“pude engendrar este penoso hijo  
y la inacción dejé, que es la cordura?”  
(...)*

*En la hora de angustia y de luz vaga,  
en su Golem los ojos detenía.  
¿Quién nos dirá las cosas que sentía  
Dios, al mirar a su rabino en Praga?*

En este extracto se ve la duda del Rabino frente a las obligaciones que implica su creatura, a la vez que se eleva el proceso demiúrgico humano (descubrimientos, invenciones, fabricaciones) a la categoría de una actividad enaltecida y trascendente, que nos hace participar de la esencia divina.

La actividad epistemológica escolar generada en torno a estas ideas tiene los siguientes puntales didácticos:

1. *Las narrativas y casos*. Relatamos hechos paradigmáticos de creación científica, más o menos controversiales, que nos sirvan para pensar sobre la ciencia con una mirada “axiológica” (cf. Echeverría, 1995).

2. *La analogía y la metáfora*. Reflexionamos en torno a las dos facetas (romántica y apocalíptica) de la ciencia de hoy en día: es a la vez nuestro “Adán” y nuestro “muñeco maldito”.

3. *La inferencia abductiva y la argumentación*. Con la idea de que la ciencia “barre la sinagoga”, examinamos críticamente su contribución a la configuración del ser humano actual.

4. *El debate y la controversia*. ¿Cuándo podemos decir que la ciencia “siembra el terror en las calles de Praga”? ¿Al servicio de quiénes está la “tecnocracia”?

## Notas

- <sup>1</sup> Se trata de la asignatura semestral obligatoria *Epistemología de la Física*, dentro del Profesorado de Enseñanza Media y Superior en Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires.
- <sup>2</sup> O “metametacientífico”, puesto que se establece desde una metaciencia –la didáctica específica– operando sobre otra metaciencia –la epistemología– (ver también la nota 3).
- <sup>3</sup> El término “metaciencia” (construido con el prefijo griego *meta-*, con el sentido de “más allá de”) se utiliza para designar disciplinas científicas de segundo orden, es decir, de carácter metadiscursivo: que predicen *sobre* la ciencia. Retomo esta idea en el cuerpo del texto.
- <sup>4</sup> Por el nombre usual de la práctica de interpretar eruditamente los textos religiosos.
- <sup>5</sup> Se trata de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, que posee el llamado CeFIEC: el Instituto de Investigaciones Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias.
- <sup>6</sup> El diseño de la asignatura, por supuesto, no es completamente *ex novo*, dado que ya existía como espacio curricular prescrito –aunque con características muy alejadas de las que quise imponerle en la “reforma” de su programa–, y además es ya clásica la inclusión de un espacio formativo como este en los currículos de formación docente.
- <sup>7</sup> Para algunas propuestas concretas en esta línea, ver Adúriz-Bravo (2005d).
- <sup>8</sup> Y es por ello que la actividad metacientífica escolar constituye en muchos aspectos un análogo, trasladado al nivel metadiscursivo, de la actividad científica escolar, pieza clave del modelo didáctico propuesto por Mercè Izquierdo-Aymerich.

## Referencias

- Adúriz-Bravo, A. (2001). *Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona. [En línea.]
- 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. (2005a). “Los descubrimientos del radio”: Una unidad didáctica para enseñar sobre la naturaleza de la ciencia a futuros profesores de ciencias naturales, en Couso, D., Badillo, E., Perafán, G.A. y Adúriz-Bravo, A. (eds.). *Unidades didácticas en ciencias y matemáticas*, 317-336. Bogotá: Editorial Magisterio.
- Adúriz-Bravo, A. (2005b). Methodology and politics: A proposal to teach the structuring ideas of the philosophy of science through the pendulum, en Matthews, M., Gauld, C., Stinner, A. (eds.). *The pendulum: Scientific, historical, philosophical and educational perspectives*, 277-291. Dordrecht: Springer.
- Adúriz-Bravo, A. (2005c). ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias?: Una cuestión actual de la investigación didáctica. *Tecné, Episteme y Didaxis*, número extra, 23-33.
- Adúriz-Bravo, A. (2005d). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia: La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Adúriz-Bravo, A. (2007a). A proposal to teach the nature of science (NOS) to science teachers: The ‘structuring theoretical fields’ of NOS. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 1(2), 41-56.
- Adúriz-Bravo, A. (2007b). La naturaleza de la ciencia en la educación científica para todos y todas. *Educación en Ciencias e Ingeniería*, 5(1), 28-36.

- Adúriz-Bravo, A. (2007c). 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.). *Didáctica de las ciencias: Aportes para una discusión*, 17-36. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Adúriz-Bravo, A. (2008a). Áreas de investigación en la didáctica de las ciencias experimentales: La naturaleza de la ciencia, en Merino Rubilar, C., Gómez Galindo, A. y Adúriz-Bravo, A. (coords.). *Áreas y estrategias de investigación en la didáctica de las ciencias experimentales*, 111-125. Bellaterra: Servei de Publicacions de la UAB.
- Adúriz-Bravo, A. (2008b). Contribuciones de la didáctica de las ciencias a la metafísica: Enseñanza de la epistemología al profesorado de ciencias naturales, en *IX Coloquio Internacional Bariloche de Filosofía: Resúmenes*, 1-2. San Carlos de Bariloche: Fundación Bariloche.
- Adúriz-Bravo, A. (2008c). ¿Existirá el “método científico”?, en Galagovsky, L. (coord.). *¿Qué tienen de “naturales” las ciencias naturales?*, 47-59. Buenos Aires: Biblos.
- Adúriz-Bravo, A. (2011). Use of the history of science in the design of research-informed NOS materials for teacher education, en Kokkotas, P.V., Malamitsa, K.S. y Rizaki, A.A. (eds.). *Adapting historical knowledge production to the classroom*, 195-204. Rotterdam: Sense Publishers.
- Adúriz-Bravo, A. y Erduran, S. (2003). La epistemología específica de la biología como disciplina emergente y su posible contribución a la didáctica de la biología. *Revista de Educación en Biología*, 6(1), 9-14.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, 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. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional/Colciencias.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4, número especial 1, 40-49. [En línea.]
- Adúriz-Bravo, A., Salazar, I., Badillo, E., Mena, N., Tamayo, O., Trujillo, J. y Espinet, M. (2001). Ideas on the nature of science in prospective teachers for early childhood education, en Montané, M. y Cambra, J. (eds.). *Papers of the 25th ATEE Annual Conference*, 313-321. Barcelona: Col·legi Oficial de Doctors i Llicenciats en Filosofia i Lletres i en Ciències de Catalunya.
- Adúriz-Bravo, A., Salazar, I., Mena, N. y Badillo, E. (2006). La epistemología en la formación del profesorado de ciencias naturales: Aportaciones del positivismo lógico. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 1(1), 6-23. [En línea.]
- Alters, B.J. (1997). Whose nature of science? *Journal of Research in Science Teaching*, 34(1), 39-55.
- Borges, J.L. (1964). El Gólem, en *El otro, el mismo*, 33-35. Buenos Aires: Emecé.
- Buty, C., Tiberghien, A. y Le Maréchal, J.-F. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26(5), 579-604.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposición didáctica: Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique. (Original en francés de 1985.)
- Clough, M. P. (2008). Teaching the nature of science to secondary and post-secondary students: Questions rather than tenets. *California Journal of Science Education*, 8(2), 31-40.
- Collins, H. y Pinch, T. (1996). *El Gólem: Lo que todos deberíamos saber acerca de la ciencia*. Barcelona: Crítica (Original en inglés de 1993.)
- Couló, A.C. (2008). Enseñar filosofía: Supuestos y decisiones metafísicos, en *IX Coloquio Internacional Bariloche de Filosofía: Resúmenes*, 26. San Carlos de Bariloche: Fundación Bariloche.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. y Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham: Open University Press.
- Echeverría, J. (1995). *Filosofía de la ciencia*. Madrid: Akal.

- Erduran, S., Mamlok-Naaman, R. y Adúriz-Bravo, A. (2007). Developing epistemologically empowered teachers: Examining the role of philosophy of chemistry in teacher education. *Science & Education*, 16(9-10), 975-989.
- Estany, A. (1993). *Introducción a la filosofía de la ciencia*. Barcelona: Crítica.
- Flick, L. y Lederman, N. (eds.) (2006). *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education*. Dordrecht: Kluwer.
- Garber, D. (1986). Learning from the past: Reflections on the role of history in the philosophy of science. *Synthese*, 67(1), 91-114.
- Giere, R. (1992). *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (Original en inglés de 1988.)
- Izquierdo-Aymerich, M. (2000). Fundamentos epistemológicos, en Perales, F.J. y Cañal, P. (co-mps.). *Didáctica de las ciencias experimentales: Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, 35-64. Alcoy: Marfil.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2004). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: Contextualizar y modelizar. *The Journal of the Argentine Chemical Society*, 92(4-6), 115-136. [En línea]
- Izquierdo-Aymerich, M. (2005). Nuevos contenidos para una nueva época: Aportaciones de la didáctica de las ciencias al diseño de las nuevas 'ciencias para la ciudadanía', en *Anais do XVI SNEF 2005*. Río de Janeiro: Sociedade Brasileira de Física. [En línea.]
- Izquierdo-Aymerich, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las Ciencias Sociales*, 6, 125-138.
- Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.
- Izquierdo-Aymerich, M. y Aliberas, J., con la colaboración de Adúriz-Bravo, A. (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.
- Klimovsky, G. (1994). *Las desventuras del conocimiento científico: Una introducción a la epistemología*. Buenos Aires: AZ Editora.
- Lederman, N. (2007). Nature of science: Past, present, and future, en Abell, S. y Lederman, N. (eds.). *Handbook of research on science education*, 831-879. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- 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, 23-29.
- Matthews, M. (1994a). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: La aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 255-277. (Original en inglés de 1992.)
- Matthews, M. (1994b). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. Nueva York: Routledge.
- McComas, W. (ed.) (1998). *The nature of science in science education: Rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer.
- 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.
- Méheut, M. y Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: Aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535.
- Meinardi, E., Inzillo, L., Rodríguez Vida, M.I., Harburguer, L. y Adúriz-Bravo, A. (2003). La planificación didáctica como 'hipótesis teórica'. Un ejemplo sobre la enseñanza del sistema circulatorio en Polimodal, en *3er Congreso Nacional y Iro Internacional de Investigación Educativa: "Laberintos y encrucijadas"*, CD-ROM, 094. Cipolletti: Universidad Nacional del Comahue.
- Mellado, V. (2003). Cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales y filosofía de la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 343-358.
- Perafán, G.A. (2003). Polifonía epistemológica en el discurso del profesor de ciencias: Estudio de caso, en Adúriz-Bravo, A., Perafán, G.A. y Badillo, E. (eds.). *Actualizaciones en didáctica de las ciencias naturales y las matemáticas*, 61-89. Bogotá: Magisterio.

- Perafán, G.A. y Adúriz-Bravo, A. (comps.) (2002). *Pensamiento y conocimiento de los profesores: Debate y perspectivas internacionales*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional/Colciencias.
- 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.
- Seroglou, F. y Adúriz-Bravo, A. (2007). Designing and evaluating nature-of-science activities for teacher education, en *IHPST 2007: Abstracts, Papers, and Slides*. [En línea]
- Seroglou, F. y Adúriz-Bravo, A. (2008). Το μοντέλο Γνώσι (GNOSIS) για το σχεδιασμό και την αξιολόγηση δραστηριοτήτων για τη διδασκαλία της φύσης των φυσικών επιστημών, en Koumaras, P. y Seroglou, F. (eds.). 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Ένωσης για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών «Αναλυτικά Προγράμματα και Βιβλία Φθισικών Επιστημών»: Πρακτικά [4ο Congreso Panhelénico de la Asociación de Didáctica de las Ciencias "Currículos y Libros de Ciencias": Actas], 271-278. Salónica: Ekdoseis Christodoulidi.
- Sperandeo-Mineo, R.M. (1999). Epistemological beliefs of physics teachers about the nature of science and scientific models, en Behrendt, H., Dahncke, H., Duit, R., Graber, W., Komorek, M., Kross, A. y Reiska, P. (eds.). *Research in science education: Past, present and future*, 250-253. Dordrecht: Kluwer.