

## CAPÍTULO 4

---

### DESAFÍOS DE LA ENSEÑANZA DE LA EPISTEMOLOGÍA AL PROFESORADO DE CIENCIAS

Agustín Adúriz-Bravo

*CONICET/GEHyD-Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales, CeFIEC-Instituto de Investigaciones Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires*

#### Consideraciones generales

Las preocupaciones en torno a la formación epistemológica del profesorado de ciencias naturales (física, química, biología, etc.) para todos los niveles educativos, desde el inicial hasta el universitario, se inscriben dentro del campo de reflexión y acción más general que atiende a los problemas que comporta la enseñanza de la epistemología (o filosofía de la ciencia) “para no-filósofos”. El acercar la epistemología a los futuros y actuales profesores de ciencias supone una serie de dificultades compartidas con la enseñanza de esta disciplina a otras poblaciones no especializadas en, y ni siquiera familiarizadas con, los enfoques teóricos y metodológicos de la filosofía, como pueden ser los científicos, los tecnólogos, los estudiantes de escuela secundaria o el público general. En este sentido, hago propias las palabras del teórico brasileño Rodrigo Pelloso Gelamo cuando caracteriza las problemáticas asociadas a esas distintas audiencias de “no-filósofos”:

En lo que concierne a la enseñanza de la filosofía en carreras que no estaban dirigidas a formar filósofos, [...] apareció de modo más

vehemente [la dificultad de que], luego del inicio y de manera general, [los estudiantes] no tenían el deseo de aprender los saberes llamados “filosóficos”. Algunos, por experiencias no muy agradables con otros profesores de filosofía; otros, meramente por falta de interés o por preconcepción; otros incluso por influencia de sus compañeros. Lo que se tornaba unánime era la pregunta: “¿qué tiene que ver eso (la filosofía) con la carrera que yo hago?”. Dicho de otro modo, cuál es la relación existente entre la filosofía y los campos de saberes específicos para los cuales cada uno de los estudiantes estaba siendo formado (Gelamo, 2007, p. 234; subrayado en el original; la traducción es mía).

Las dificultades y desafíos de enseñanza de los que hablo en este capítulo se enraizan en numerosas y diversas causas: entre ellas, que la carga horaria total destinada a la epistemología en los trayectos formativos antes mencionados es baja; que los estudiantes “no-filósofos” no cuentan con los prerrequisitos esperables en una variedad de campos conceptuales básicos instrumentalmente muy importantes para aprender epistemología, como son la historia de la filosofía, la historia general, la lógica formal o la teoría argumentativa; que el enfoque que se da a estos cursos o unidades de epistemología suele ser generalista, abstracto y “descontextualizado” (cf. Clough, 2004); que las fuentes epistemológicas originales se muestran, a los no iniciados, opacas y densas frente a un primer acceso; o que a menudo no se tienen demasiado en cuenta las necesidades e intereses distintivos de cada una de esos públicos destinatarios al realizar los procesos de transposición didáctica del saber epistemológico de referencia (cf. Adúriz-Bravo, 2011a).

En el caso particular de los profesores de ciencias, si bien esta población-blanco, por su contacto con asignaturas de carácter pedagógico y didáctico, está más “entrenada” que otras en la lectura de bibliografía diversa y profusa, y escrita en el estilo propio de las ciencias sociales y las humanidades, lo usual es que cuente con un contacto curricular muy escueto con la filosofía, la historia, la lógica y el análisis del discurso, saberes todos que parecen bastante necesarios para acometer el aprendizaje de los contenidos epistemológicos. Se reiteran así algunas de las quejas “clásicas” de más arriba acerca de la “línea de base” que traen este tipo de estudiantes a las clases de epistemología.

A todo lo antedicho se suma que la enseñanza tradicional de la epistemología, fuertemente modelada sobre la necesidad de formar futuros filósofos y especialistas, se puede calificar de una enseñanza “mediante el comentario” o

“exegética”<sup>9</sup> (cf. Gómez Pardo, 2007), donde al estudiante “[a] través de la formación educativa que [...] ha recibido por años se le ha enseñado a ser un comentarista de lo que otros han dicho u opinado sobre cualquier tema” (Barreto Bernal, 2011, p. 184).

Esta modalidad de enseñanza tan apegada a la letra experta, que está muy extendida en los cursos de epistemología disponibles para el profesorado de ciencias, representa un nuevo constreñimiento, o más bien una limitación, para poder vincular sustantivamente los saberes epistemológicos con la didáctica de las ciencias, que es la disciplina “profesionalizadora” de esos profesores.<sup>10</sup> De allí que aparezca el gran desafío de hacer que la epistemología enseñada consiga tener un rol *funcional* en la práctica docente.

A pesar de todo lo anterior, la necesidad –ahora ampliamente reconocida– de enseñar epistemología a los profesores y profesoras de ciencias (cf. Matthews, 1994) se desenvuelve sobre un “telón de fondo” muy rico y de mucha actividad académica, que de alguna manera apantalla algunas de las dificultades enumeradas y da pistas para planificar y llevar adelante una formación epistemológica bien fundamentada. En efecto, tanto la epistemología como la didáctica de las ciencias se nos aparecen hoy como disciplinas bien “consolidadas”, con una parte de la producción epistemológica y didáctica hecha enfocándose en la cuestión de la formación del profesorado (cf. Adúriz-Bravo, 2007, 2011a). Así, se dan actualmente sinergias interesantes entre ambas disciplinas, en una emergente área de investigación “mixta”<sup>11</sup> que enriquece la educación en ciencias con el aporte de los saberes *sobre* la ciencia (“metacientíficos”) (Adúriz-Bravo y Ariza, 2012).

Dentro de esta “fértil arena híbrida” (McComas et al., 1998, p. 4), la investigación didáctica sobre la epistemología ha acometido de manera recurrente la

---

<sup>9</sup> Se entiende aquí esta calificación de manera peyorativa, para señalar la pervivencia obstinada y desajustada temporal, valórica y metodológicamente de una modalidad clásica de enseñanza de la filosofía que sí tuvo su razón de ser en su momento histórico (y que aparece caracterizada con mucho detalle en Pérez Cortés, 2004, pp. 150-160).

<sup>10</sup> Con este mismo espíritu, Mercè Izquierdo-Aymerich (2005) llama a la didáctica de las ciencias naturales la “ciencia del profesorado de ciencias”.

<sup>11</sup> Se trata del área de investigación conocida como HPS (por las siglas en inglés de “historia de la ciencia y epistemología [en/para la enseñanza de las ciencias]”). Para un panorama general de la diversidad y riqueza de esta área, ver el nuevo “*handbook*” editado por Michael Matthews (2014).

discusión en torno a la importancia de incluir esta disciplina (junto con otras perspectivas metacientíficas) en la formación de grado y de posgrado de los profesores de ciencias. De allí que se disponga hoy en día de argumentación sólida y con bastante fundamento empírico acerca del valor de esos saberes en la profesionalización del profesorado de ciencias (cf. Erduran et al., 2007). A ello se suman incipientes investigaciones sobre concepciones alternativas, obstáculos y “mitos” epistemológicos que aparecen en el profesorado (cf. McComas, 1996).

En este capítulo adhiero a una tesis que presenté anteriormente (Adúriz-Bravo, 2001), para ayudarme en mi análisis de la problemática de enseñar conceptos epistemológicos a los profesores y en la fundamentación de mis propuestas formativas. Tal tesis es que la epistemología y la didáctica de las ciencias comparten, al menos parcialmente, un carácter *metacientífico*, es decir, metadiscursivo o “de segundo orden”, *sobre* las propias ciencias naturales, y que esa naturaleza metacientífica les permite a ambas disciplinas analizar la actividad científica y sus productos de manera “crítica” y relacionarse de manera sustantiva entre sí (Adúriz-Bravo, 2001). Esto lleva a la posibilidad de incluirlas de manera “sintonizada” en diversas modalidades y espacios dentro de la formación del profesorado.

Habida cuenta de la enorme diversidad de modelos de educación del profesorado de ciencias existentes en los países de nuestra región, tal inclusión significativa de la epistemología en el pensum puede resultar novedosa, o puede en cambio reclamar la revisión y modificación de mallas curriculares tradicionales, que ya la contenían pero de maneras que poco fomentaban la profesionalidad docente. El resto de este capítulo está dedicado a esbozar algunas cuestiones teóricas y prácticas para ayudar en la tarea.

### **Algunas dificultades para enseñar epistemología al profesorado**

De manera muy general, se pueden “clasificar” los problemas que aparecen al intentar enseñar formalmente epistemología al profesorado de ciencias naturales situándolos sobre los cuatro vértices del clásico “sistema didáctico”. Así, aparecen dificultades relacionadas con el *estudiantado* destinatario de la formación epistemológica (futuros y actuales profesores de ciencias); dificultades ligadas al *contenido* específico a enseñar —epistemología de las ciencias naturales o de alguna de estas disciplinas en particular, ya sea en una introducción amplia, histórica, o en un abordaje más “monográfico”, centrado en algunos conceptos clave—; dificultades ocasionadas por la naturaleza del *contexto* en el

que se desarrolla esta formación, con sus propias finalidades y valores, y muy distinto al de la preparación de filósofos; y dificultades que se asocian al perfil de los *formadores* que llevan adelante la tarea.

Comencemos por el último vértice. Quienes tenemos a nuestro cargo la tarea de enseñar epistemología a profesores de ciencias constituimos un colectivo variopinto en el que se ponen de manifiesto diversas problemáticas. En primer lugar, no están muy claras las “incumbencias” de esta formación epistemológica: ¿deberían ser los epistemólogos los encargados de enseñar su campo de especialidad, siguiéndolo muy de cerca, o podríamos los didactas de las ciencias asumir esta tarea? Si nos inclinamos por la segunda opción, entonces aparece la necesidad de preguntarse sobre las posibles ventajas y desventajas. Retomo brevemente este punto un poco más abajo.

Con cierta independencia de nuestra adscripción disciplinar, los formadores epistemológicos heredamos, como señalé más arriba, una fuerte tradición exegética; consecuentemente, solemos organizar nuestras clases como secuencias de lectura y comentario de fuentes primarias extractadas de la epistemología “erudita”, apoyándonos en fuentes secundarias que las organizan y “glosan”, pero que rara vez interpelan los constructos epistemológicos o los aplican a problemas con significado para los profesores de ciencias. A todo ello se suman obstáculos contextuales no menores, tales como la escasa integración de nuestra asignatura con el resto del currículum de formación docente, la falta de adecuación del programa al público destinatario o la carencia crónica de materiales y textos de calidad.

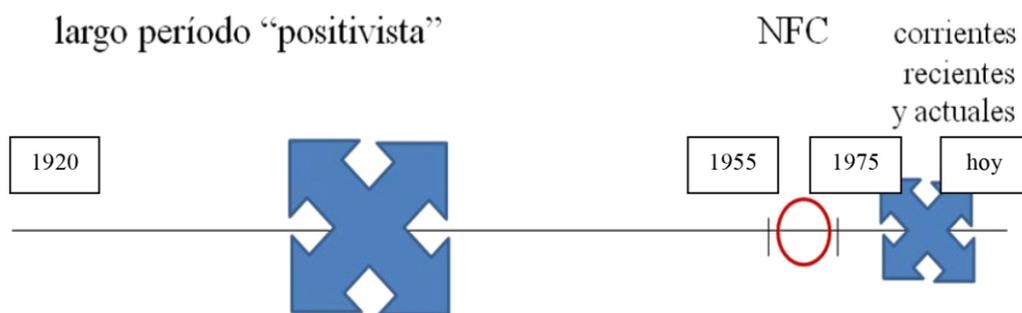
Este último punto merece un párrafo aparte: si bien existe una plétora de manuales de introducción a la epistemología para la enseñanza superior universitaria y no universitaria, estos han sido mayormente pensados para la formación de filósofos o, en algunos casos, para introducir al estudiantado general en los rudimentos de la disciplina (como el libro canónico de Alan Chalmers [1976, y sucesivas reediciones corregidas y aumentadas]). Son contados aquellos textos que han sido diseñados *específicamente para profesores de ciencias*<sup>12</sup>.

En relación con la cuestión que esboqué más arriba, si consideramos factible la posibilidad de que seamos didactas de las ciencias quienes acerquemos la epistemología al profesorado, surge el problema de las relaciones que ha mantenido la didáctica con la historia de la epistemología del siglo XX. En este sentido, la Figura 1 pretende ser un esquema simplificado de los usos y desusos que la in-

---

<sup>12</sup> Ver por ejemplo: Hodson (2009) y Allchin (2013) en inglés, y Adúriz-Bravo (2005) y Galagovsky (2008, 2011), en castellano.

vestigación didáctica, la educación científica y la formación del profesorado de ciencias han hecho de las grandes corrientes epistemológicas que surgieron de 1920 en adelante. Desde fines de los años 80, momento en que se produce una fuerte “aproximación” entre epistemología y didáctica (Matthews, 1992), el interés de nuestra disciplina se ha dirigido casi exclusivamente hacia la llamada “nueva filosofía de la ciencia” (NFC), especialmente en su versión historicista, entronizando a Thomas Kuhn en el sitio de la referencia más citada (cf. Matthews, 2004).



*Figura 1.* Esquema de las relaciones de la didáctica de las ciencias con tres grandes momentos del desarrollo de la epistemología. Un primer momento positivista, descartado por “tradicional”; un segundo momento, contextualista y relativista, preferido por su “maridaje” con el constructivismo; un tercer momento, de formulaciones contemporáneas, desconocido por los didactas a causa de nuestra formación.

Esta sobrevaloración de la epistemología contextualista y relativista, que sintonizaba con el emergente constructivismo didáctico, llevó a que las escuelas epistemológicas anteriores (positivismo lógico, racionalismo crítico, concepción heredada) fueran descartadas en bloque, con el argumento de que representaban abordajes empiropositivistas y cientificistas, identificados con una enseñanza de las ciencias “tradicional”. Por su parte, los autores y textos post-kuhnicos tampoco encontraron un lugar relevante en la reflexión sobre la educación científica, principalmente debido a la endeble formación de los didactas de las ciencias (que somos, de base, científicos o profesores de ciencias) en las corrientes recientes y actuales de la epistemología.

Esta relación sesgada con la historia de la epistemología constituye sin duda un escollo para que los didactas asumamos de manera rigurosa la formación epistemológica del profesorado. En este sentido, resulta necesario revisar nues-

tro descarte demasiado apresurado de las ideas del Círculo de Viena y sus herederos, y también falta trabajo sostenido para estudiar, desde la didáctica de las ciencias, la rica producción metateórica de los últimos cuarenta años. En particular, parece fundamental incorporar elementos de la llamada “familia semanticista”, que muchos autores consideran muy potente para la enseñanza de las ciencias (cf. Koponen, 2007; Adúriz-Bravo, 2012a).

Por su parte, las dificultades que aparecen en nuestro estudiantado, más allá de las generalidades que expuse más arriba, tienen que ver más bien *con la interacción* entre estos profesionales de la docencia en formación o en actividad, con un perfil propio muy marcado, y el contenido a enseñar, conformado por el “núcleo duro” de la epistemología erudita, su devenir histórico, su aplicación a casos concretos de actividad científica, y su utilización en la enseñanza de las ciencias.

Así, existirían unas primeras dificultades ligadas a la comprensión de la naturaleza y el carácter de la epistemología: entender cuáles son los objetos de estudio, finalidades, preguntas principales, compromisos teórico-metodológicos, ejemplos paradigmáticos o “héroes” que han marcado su historia. Tomemos a modo de ejemplo una problemática epistemológica clásica –la de la oposición entre *esencialismo* y *nominalismo*, es decir, el debate entre dos hipótesis sobre la naturaleza de los lenguajes humanos (cf. Guibourg et al., 1985). ¿Son las palabras una expresión de la “esencia” última de las cosas, expresión que devela categorías naturales independientes de la actividad humana de “discursar”, o son más bien fabricaciones altamente convencionales que dan cuenta de nuestra acción cultural en el mundo? Para que los profesores puedan discutir esta oposición, caracterizando con cierto rigor ambas posiciones, deben antes ser capaces de utilizar con solvencia la capacidad recursiva del lenguaje y apropiarse de la noción de “metadiscurso”.

El siguiente fragmento de la novela *A través del espejo, y lo que Alicia encontró al otro lado* (1871), de Lewis Carroll, sirve para mostrar que la tarea de estudiar “analíticamente” el lenguaje no está exenta de dificultades conceptuales y formales:

–Déjame que te cante una canción que te alegre [–dijo el caballero blanco]. [...] A la canción *la llaman* “Ojos de bacalao”.

–¡Ah! ¿Conque *ése es el nombre* de la canción, eh? –dijo Alicia, intentando dar la impresión de que estaba interesada.

–No, no comprendes –corrigió el caballero, con no poca contrariedad–. Así es como *la llaman*, pero *su nombre* en realidad es “Un anciano viejo viejo”.

–Entonces, ¿debo decir que así es como *se llama* la canción? [...].

–No, tampoco. ¡Eso ya es otra cosa! La canción *se llama* “De esto y de aquello”, pero es sólo cómo *se llama*, ya sabes...

–Bueno, pues entonces *cuál es* esa canción –pidió Alicia que estaba ya completamente desconcertada.

–A eso iba –respondió el caballero. En realidad, la canción *no es otra que* “Posado sobre una cerca” [...]. (Carroll, 2004, p. 123; el subrayado es mío)

Evidentemente, distinguir las fórmulas subrayadas, que aparecen “mezcladas” en el sentido común, demanda elucidaciones de carácter metateórico con las que los profesores probablemente no se han encontrado antes en su carrera.

En la misma línea, las dificultades para utilizar el vasto utillaje formal de la epistemología (en parte importado desde la lógica, el análisis del lenguaje o la teoría de la argumentación) aumentan rápidamente cuando las discusiones se hacen lo suficientemente sofisticadas como para poder “capturar” ejemplos reales de ciencias conocidos por el estudiantado. Considérense por ejemplo los siguientes tres usos, parcialmente distintos, de la conjunción “y” en castellano: 1. Zulma es cordobesa y simpática; 2. La novia entró a la Iglesia y tropezó con la alfombra; 3. Juan comió pescado y se murió. Está claro que la proposición 1 es un ejemplo arquetípico de proposición compuesta construida utilizando el conector lógico “y” (simbolizado usualmente como “.” o “^”). Ahora bien, cuando los profesores acometen la abstracción o formalización de las proposiciones 2 y 3, suelen aplicar erróneamente el mismo conector, sin entender que el matiz temporal introducido en la segunda o el matiz causal introducido en la tercera vulneran las propiedades lógicas supuestas para el “.” como operador puramente sintáctico (cf. Gamut, 2002). Revisar estas cuestiones *en relación con la estructura de las teorías científicas* insume tiempo y exige traspasar a nuestros estudiantes herramientas técnicas no triviales.

Cuando se salva el escollo de la familia de problemas teóricos anteriores, aparece un nuevo conjunto de dificultades más interesantes, de las cuales trataré dos. La primera es la dificultad para aplicar la epistemología a la comprensión de casos científicos reales, no “maquetados”, procedentes de la historia de la ciencia o de la actividad investigativa actual. La sobrerepresentación de “tópicos” de descubrimiento científico (Galileo, Newton, Lavoisier, Mendel, Fleming, Einstein, etc.), muchas veces heredados de las propias publicaciones de los epistemólogos, hace que a menudo los constructos epistemológicos aparezcan, ante los profesores, como artificiosos y poco abarcativos. Una apropiación más comprensiva de la epistemología por parte de ellos requeriría hacer *estudios de caso* de mayor solidez, donde el contenido científico bajo discusión cobre prota-

gonismo y se logre entender que la epistemología constituye una genuina *modelización* del conocimiento y la práctica científicas. En algunas de mis publicaciones he sugerido, por ejemplo, utilizar como encuadre para una discusión epistemológica más “aplicada” los trabajos del matrimonio Curie sobre el radio, analizando con cierto cuidado las ideas físicas y químicas involucradas y el contexto histórico en el que se postularon (cf. Adúriz-Bravo, 2014).

Además de las complejidades asociadas a intentar utilizar los constructos epistemológicos para entender la actividad científica real, el profesorado de ciencias enfrenta dificultades para relacionar esta disciplina con la didáctica de las ciencias y, por tanto, para reconocer la centralidad que ella puede tener en su profesionalización. Detengámonos, para fijar ideas, en la problemática de enseñar física clásica en el nivel secundario obligatorio (12-15 años). Podemos hacer ver a los profesores que la epistemología arroja luz sobre cuestiones directamente incidentes en la práctica de aula, tales como:

1. Que la falta de una matemática de nivel superior (análisis o “cálculo”) no solo torna imprescindible transformar las ecuaciones de movimiento en versiones “escolares” planteadas con diferencias finitas, sino que tiene una consecuencia epistémica mucho más profunda: nos obliga a elegir para las clases de física, de entre los modelos newtonianos paradigmáticos, aquellos consecuentes con esta presentación que “circunvala” la idea implícita de ecuación diferencial (problemas discretos, del punto material, de pocos cuerpos, de trayectorias planas, etc.).
2. Que el “mandato curricular” de exposición de la mecánica clásica en clase sigue casi invariablemente el recorrido cinemática-dinámica-energía porque plantea un paralelismo fuerte entre *ontogenia* y *filogenia*, y consecuentemente presenta a los adolescentes y jóvenes los constructos mecánicos organizados en tres “estadios” de abstracción creciente, correspondientes a las formulaciones históricas galileana, newtoniana y del siglo XIX.
3. Que los currículos de física escolar suelen llegar solo hasta el conocimiento establecido hacia 1925 –momento de la emergencia de los grandes tinglados teóricos de la “física moderna”– no por falta de tiempo o por desactualización, sino por elección fundamentada, habida cuenta que la finalidad más valorada para la enseñanza de los contenidos físicos en secundaria es la “formalista”: la capacidad de las teorías axiomáticas de organizar el pensamiento abstracto e hipotético en los estudiantes y de prepararlos para la resolución de problemas.

Si queremos atacar todas las cuestiones que he enunciado para el segmento del sistema didáctico que conecta estudiantes y contenido, aparece el desafío in-

soslayable de fomentar, en los profesores que estamos formando, una genuina “competencia metacientífica” (Adúriz-Bravo, 2012b). Tal competencia les permitiría –al habilitarlos para “soldar” íntimamente contenidos científicos, epistemológicos y didácticos– tomar la *ciencia a enseñar* como objeto de estudio riguroso. Así, los conceptos epistemológicos aprendidos pasarían a funcionar a modo de genuinas herramientas intelectuales, utilizadas productivamente para llegar a entender “qué es esa cosa llamada ciencia” (Chalmers, 1976), condición *sine qua non* para mejorar sus prácticas de enseñanza.

### Un ejemplo de propuesta didáctica para la formación epistemológica

A causa del consenso existente hoy en día en torno a lo esencial que resulta la epistemología para la profesionalización docente, la enseñanza de esta disciplina se está instalando crecientemente en las carreras y trayectos de formación o de cualificación del profesorado. Ello hace que diversos expertos sean convocados para ponerse al frente de los correspondientes espacios curriculares. Debemos entonces reconocer con cierta cuota de humildad que aquellos expertos que provienen del campo de la epistemología pueden, en algunos casos, no manejar el contenido científico con detalle o no acertar con las necesidades de su audiencia, así como que aquellos expertos que provenimos del campo de la didáctica de las ciencias (y que probablemente constituimos ahora el grueso de los encargados de acercar la epistemología a los profesores) no tenemos, en líneas generales, un grado de experticia elevado en esa disciplina, debido a nuestra falta de estudios formalizados.

En el caso de los didactas, aparece entonces la urgencia de que nos especialicemos de manera más o menos sistemática en epistemología, tomando cursos, actualizándonos, incorporando una visión integral y balanceada de la producción epistemológica del siglo XX, estando atentos a lo que se discute en torno a la enseñanza de esta disciplina, y trabajando de manera colaborativa con epistemólogos profesionales sensibles a nuestros objetivos formativos. Creo que los profesores de ciencias que actualmente estamos dando asignaturas o módulos de epistemología a otros profesores constituimos una “generación sándwich”, en el sentido de que se nos demanda enseñar unos contenidos que estuvieron muy poco presentes en nuestra propia formación; sin embargo, esta situación está cambiando para mejor.

En la intención de socializar con mis colegas algunos desafíos pendientes, los apuntes para la enseñanza de la epistemología que reseño muy brevemente a continuación deberían ser tomados como lo que llama a veces “ejemplificación

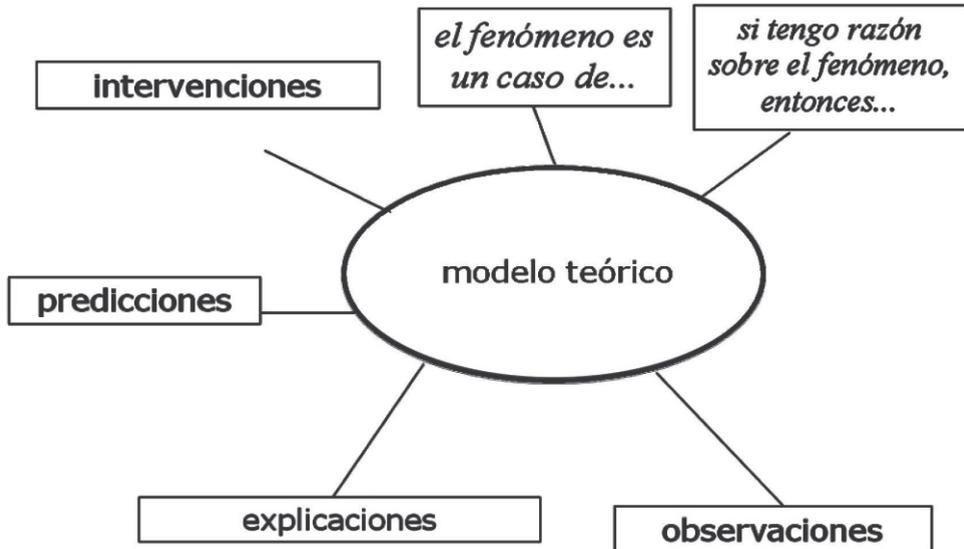
curricular”. Esto significa que corresponden a la *formulación de una propuesta modélica* “a escala real” (Izquierdo-Aymerich et al., 2012, p. 147), para que el profesorado implicado en instancias de formación epistemológica la tome como “ejemplar” para diseñar sus propias actividades didácticas. La fundamentación que hay por debajo de la instrumentación que aquí comparto es la de generar en los futuros y actuales profesores algunas competencias metacientíficas, de manera que ellos puedan a su vez producir lo que llamo una genuina “actividad metacientífica escolar” (Adúriz-Bravo, 2011a), es decir, un empleo robusto de la epistemología como metateoría sobre las teorías científicas.

En la educación epistemológica del profesorado de ciencias me interesa sobremanera el constructo de “modelo teórico”, proveniente de la epistemología reciente; en particular, las conceptualizaciones que de este constructo hace la escuela conocida como *concepción semántica de las teorías científicas* (cf. Adúriz-Bravo, 2012a). Discutir con los profesores de ciencias “qué son los modelos y para qué los necesitamos” (Grandy, 2003, p. 773) involucra enseñar algunas cuestiones clave de la nueva epistemología semanticista, línea de trabajo que –como señalé más arriba– muchos didactas encontramos central para la profesionalización docente.

La Figura 2 muestra un “artefacto didáctico” que he diseñado para examinar con profesores en formación o en actividad algunas cuestiones relacionadas con el *razonamiento* y la *argumentación* científicas *basadas en modelos* (Adúriz-Bravo, 2013). El artefacto remite a principios teóricos transpuestos desde la epistemología de corte semántico y “modeloteórico” de los años 80 y 90 (por ejemplo, a partir de Giere, 1992).

La idea medular que pretendo enseñar al profesorado es que los modelos epistémicos –externos, teóricos– “tiñen” o “cargan” de teoría las distintas operaciones inferenciales de la ciencia (entre ellas, observar, predecir, explicar e intervenir), encuadrándolas y al mismo tiempo dirigiéndolas. Lo que es susceptible de ser visto, pensado o dicho sobre un hecho del mundo, y también las cosas que podemos “hacer” sobre él, dependen fuertemente de nuestras “gafas conceptuales”, que recortan la realidad y permiten capturarla desde categorías abstractas y apuntalar su transformación activa.

Desde esta perspectiva semántica, la “modelización” se nos aparece entonces como el acto de subsumir un fenómeno bajo estudio –tomado como un “caso”– en una estructura teórica general, modélica –entendida como una “regla”. Esta “subsunción” involucraría un razonamiento ampliativo de naturaleza abductiva (esto es, un razonamiento generador de hipótesis que busca dar con



*Figura 2.* Esquema “semanticista” para entender el uso de los modelos en las ciencias naturales. Un modelo guía la observación, la explicación, la predicción y la intervención del científico. Además, tal modelo “subsume” el fenómeno mediante una relación caso-regla, y se puede ajustar mediante un proceso de “iteración” en el que de él se derivan consecuencias teóricas, que luego son comparadas con los resultados de las operaciones anteriores.

la “mejor explicación”). El proceso de modelización, a su vez, requiere de elaboradas instancias de “juicio” científico (es decir, de elección razonada y consensual), en las que se comparan consecuencias deductivas de las ideas teóricas –que se siguen de poner en marcha o “iterar” el modelo– con los resultados del trabajo empírico de intervención en los sistemas reales.

En mi propuesta, el utillaje teórico esbozado en los párrafos precedentes se pone en acción para analizar casos históricos de modelización científica (cf. Adúriz-Bravo, 2011b, 2013). Se trabaja sobre episodios tales como la transición del modelo atómico del “pudín de ciruelas” de Thomson al modelo “planetario” de Rutherford, la invención de los marcadores radiactivos por de Hevesy, la solución que introduce Newton en sus *Principia* para el problema del Sistema Solar mediante las “cónicas” de Apolonio, la postulación de la estructura tridimensional de “doble hélice” para la molécula de ADN en 1953, la reconceptualización lavoiseriana del fenómeno de revivificación de las cales metálicas introduciendo un “aire” portador del principio de acidez, etc.

Demos ahora algunos detalles concretos. Podemos utilizar las nociones epistemológicas en torno al trabajo científico con modelos para, por ejemplo, revi-

sar las narrativas canónicas –que aparecen en los libros de texto– sobre los célebres experimentos de Geiger y Marsden de la lámina de oro bombardeada con partículas alfa, e impugnar así la versión “hagiográfica” (triumfalista) del descubrimiento del núcleo atómico. Se trataría de construir, con el auxilio de la epistemología, un relato científico e histórico mucho más consistente (cf. Niaz, 2008), y con incidencia directa en nuestra forma de presentar este tema en clase. En este relato “epistemológicamente fundamentado”:

1. La hipótesis de Rutherford sobre la estructura del átomo implica la “invención” de la idea de núcleo –idea que funciona a modo de modelo teórico–, a fin de explicar unos resultados inesperados desde la visión dominante.
2. Las figuras de difracción obtenidas en la inspección por bombardeo guardan una relación compleja e interactiva con los supuestos teóricos de Rutherford, y por tanto no constituyen la “prueba” irrefutable de la existencia del núcleo. Así, observación, predicción e intervención aparecen atravesadas por el modelo detentado por el científico.
3. La comunicación del modelo “planetario” implica sucesivas analogías, entre ellas, una “visualización” de la interacción electromagnética de las distintas partículas subatómicas en términos de entidades macroscópicas, de comportamiento clásico, que “chocan” y “rebotan”.
4. La polémica entre Rutherford y Thomson enfrenta dos explicaciones en pugna para los mismos resultados, y no se zanja de manera automática a favor del primer investigador. Por el contrario, requiere de argumentación rigurosa y de un progresivo convencimiento de la comunidad científica a través de una cadena de logros que robustecen iterativamente el nuevo modelo.

En mi opinión, se trata de generar con los profesores un trabajo bien articulado entre los conceptos epistemológicos “duros”, los ejemplos de ciencias a los que estos se aplican, y las consecuencias didácticas que se derivan de esa aplicación. De esta manera, las construcciones de la epistemología cobrarían sentido para el profesorado y, lo que es más importante aún, lo ayudarían a transformar su práctica profesional, en el entendimiento de que pensar epistemológicamente la *ciencia escolar* estructura una enseñanza constructivista de calidad.

### **A guisa de conclusión**

En este capítulo he recorrido muy rápidamente algunas de las dificultades que enfrentamos quienes asumimos la tarea de enseñar epistemología a profesores y profesoras de ciencias naturales, estén estos recorriendo su preparación inicial o participando de espacios de cualificación en servicio. A través de reco-

nocer que existe reflexión crítica, investigación empírica y producción práctica sobre esta temática, he intentado una relectura de esas dificultades en clave de “desafíos”, para contribuir al panorama general de la discusión y aportar pistas para seguir pensándolo.

Las cuestiones que he planteado me han llevado a hacer algunas delimitaciones teóricas, a su vez “aterizadas” en sugerencias prácticas. Como conclusión principal quedan las tres siguientes constataciones:

1. El abordaje tradicional, academicista, para enseñar epistemología al profesorado de ciencias, puede ser técnicamente correcto pero poco funcional.
2. Un abordaje alternativo, más cercano a las inquietudes de la didáctica, parece más realista pero a menudo se muestra limitado y sesgado.
3. Un enfoque “híbrido”, que no tergiverse la epistemología disciplinar pero que también se preocupe fuertemente por que ella resulte significativa para los profesores destinatarios, se nos aparece como un objetivo deseable y plantea un desafío para seguir trabajando mancomunadamente entre didactas y epistemólogos.

## Referencias

- Adúriz-Bravo, A., 2001, “Relaciones entre la didáctica de las ciencias experimentales y la filosofía de la ciencia” en F.J. Perales et al. (eds.) *Las didácticas de las áreas curriculares en el siglo XXI*, Grupo Editorial Universitario, Granada.
- Adúriz-Bravo, A., 2005, *Una introducción a la naturaleza de la ciencia: La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*, Fondo de Cultura Económica, Buenos Aires.
- Adúriz-Bravo, A., 2007, “La naturaleza de la ciencia en la formación de profesores de ciencias naturales” en R. Gallego, R. Pérez y L.N. Torres de Gallego (comps.) *Didáctica de las ciencias: Aportes para una discusión*, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- Adúriz-Bravo, A., 2011a, “Epistemología para el profesorado de física: Operaciones transpositivas y creación de una “actividad metacientífica escolar””, *Revista de Enseñanza de la Física*, vol. 24, no. 1, pp. 7-20.
- Adúriz-Bravo, A., 2011b, “Use of the history of science in the design of research-informed NOS materials for teacher education” en P.V. Kokkotas, K.S. Malamitsa y A.A. Rizaki (eds.) *Adapting historical knowledge production to the classroom*, Sense Publishers, Rotterdam.

- Adúriz-Bravo, A., 2012a, "Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química", *Educación Química*, vol. XXIII, no. E2, pp. 248-256.
- Adúriz-Bravo, A., 2012b, "Competencias metacientíficas escolares dentro de la formación del profesorado de ciencias" en E. Badillo, L. García, A. Marbà, y M. Briceño (coords.) *El desarrollo de competencias en la clase de ciencias y matemáticas*, Universidad de Los Andes, Mérida.
- Adúriz-Bravo, A., 2013, "School science as intervention: Conceptual and material tools and the nature of science" en P. Heering, S. Klassen y D. Metz (eds.) *Enabling scientific understanding through historical instruments and experiments in formal and non-formal learning environments*, Flensburg University Press, Flensburg.
- Adúriz-Bravo, A., 2014, "La historia de la ciencia en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia: Maria Sklodowska-Curie y la radiactividad", *Educación Química*, vol. 16, pp. 10-16.
- Adúriz-Bravo, A. y Ariza, Y., 2012, "Importancia de la filosofía y de la historia de la ciencia en la enseñanza y en el aprendizaje de las ciencias" en Z. Monroy Nasr, R. León-Sánchez y G. Álvarez Díaz de León (eds.) *Enseñanza de la ciencia*, UNAM-Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Allchin, D., 2013, *Teaching the nature of science: Perspectives and resources*, SHiPS Education Press, Saint Paul.
- Barreto Bernal, L.J., 2011, "Disertación filosófica, una estrategia didáctica entre lo escritural y lo oral", *Praxis y Saber*, vol. 2, no. 3, pp. 173-196.
- Carroll, L., 1871/2004, *A través del espejo*, Ediciones del Sur, Córdoba.
- Chalmers, A. F., 1976, *What is this thing called science? An assessment of the nature and status of science and its methods*, University of Queensland Press, St Lucia.
- Clough, M.P., 2004, "The nature of science: Understanding how the "game" of science is played" en J. Weld (ed.) *The game of science education*, Allyn and Bacon, Boston.
- Erduran, S., Adúriz-Bravo, A. y Maamlök Naaman, R., 2007, "Developing epistemologically empowered teachers: Examining the role of philosophy of chemistry in teacher education", *Science & Education*, vol. 16, no. 9-10, pp. 975-989.
- Galagovsky, L., (coord.) 2011, *Didáctica de las ciencias naturales: El caso de los modelos científicos*, Lugar Editorial, Buenos Aires.
- Galagovsky, L., (coord.) 2008, *¿Qué tienen de "naturales" las ciencias naturales?*, Biblos, Buenos Aires.

- Gamut, L.T.F., 2002, *Introducción a la lógica*, Eudeba, Buenos Aires.
- Gelamo, R.P., 2007, "Ensino de filosofia para não-filósofos: Filosofia de ofício ou ofício de professor: Os limites do filosofar", *Educação & Sociedade*, vol. 28, no. 98, pp. 231-252.
- Giere, R.N., 1992, *La explicación de la ciencia: Un punto de vista cognoscitivo*, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México.
- Gómez Pardo, R., 2007, *La enseñanza de la filosofía*, Universidad de San Buenaventura, Bogotá.
- Grandy, R.E., 2003, "What are models and why do we need them?", *Science & Education*, vol. 12, no. 8, pp. 773-777.
- Guibourg, R.A., Ghigliani, A.M. y Guarinoni, R.V., 1985, *Introducción al conocimiento científico*, Eudeba, Buenos Aires.
- Hodson, D., 2009, *Teaching and learning about science: Language, theories, methods, history, traditions and values*, Sense Publishers, Rotterdam.
- Izquierdo-Aymerich, M., Márquez, C. y Cabello, M., 2012, "Identificación de los elementos esenciales en un diseño curricular "por competencias"" en J.M. Domínguez Castiñeiras (ed.) *XXV Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela. Recuperado el 21/06/2014 de <http://www.apice-dce.com/sites/default/files/XXV%20EDCE.pdf>
- 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", *Anais do XVI SNEF 2005*, Sociedade Brasileira de Física, Río de Janeiro. Recuperado el 21/06/2014 de <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/Nuevoscontenidosmerce.pdf>
- Koponen, I.T., 2007, "Models and modelling in physics education: A critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions", *Science & Education*, vol. 16, no. 7-8, pp. 751-773.
- Matthews, M.R., (ed.) 2014, *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*, Springer, Dordrecht.
- Matthews, M.R., 2004, "Thomas Kuhn's impact on science education: What lessons can be learned?", *Science Education*, vol. 88, no. 1, pp. 90-118.
- Matthews, M.R., 1994, *Science teaching: The role of history and philosophy of science*, Routledge, Londres.
- Matthews, M.R., 1992, "History, philosophy, and science teaching: The present rapprochement", *Science & Education*, vol. 1, no. 1, pp. 11-47.

- McComas, W.F., Clough, M.P. y Almazroa, H., 1998, "The role and character of the nature of science in science education" en W.F. McComas (ed.) *The nature of science in science education: Rationales and strategies*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- McComas, W.F., 1996, "Ten myths of science: Reexamining what we think we know about the nature of science", *School Science & Mathematics*, vol. 96, no. 1, pp. 10-16.
- Niaz, M., 2008, *Teaching general chemistry: A history and philosophy of science approach*, Nova Science Publishers, Nueva York.
- Pérez Cortés, S., 2004, *Palabras de filósofos: Oralidad, escritura y memoria en la filosofía antigua*, Siglo XXI Editores, México.