

DIDACTOLOGÍA Y FORMACIÓN DOCENTE. EL CASO DE LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA FRENTE A LOS DESAFÍOS DE UNA NUEVA CULTURA DOCENTE Y CIUDADANA¹

MARIO QUINTANILLA GATICA

mquintag@uc.cl²

*Departamento de Didáctica. Facultad de Educación
Pontificia Universidad Católica de Chile*

RESUMEN: En este artículo se reflexiona sobre las relaciones entre la ciencia construida y la ciencia enseñada, es decir, sobre el fenómeno histórico y epistemológico recogido por la *didactología* y su ámbito de conocimiento e investigación. Se establecen algunos de los enfoques que relacionan esta última disciplina con la formación del profesorado, el currículo y la educación científica con la finalidad de proporcionar elementos de análisis que permitan comprender la consolidación de la *didactología como una metaciencia*, sus aportaciones en los campos citados y su relación con determinados modelos de formación profesional docente en el ámbito de las ciencias naturales.

PALABRAS CLAVE: Ciencia, Historia, Epistemología, Didactología, Metaciencia, Formación Profesorado, Investigación, Ciencias Naturales, Educación Científica, Modelos.

ABSTRACT: In this article one reflects on the relationship between constructed science and the taught science, that is to say, on the historical and epistemologic phenomenon gathered by *didactology* and its scope of knowledge and reasearch. We chose some of the approaches that relate didactology with teacher training, curriculum and scientific education. Our propose is to provide elements of analysis that allow the understanding of the consolidation of *didactology as a metascience*, its contribution in the mentioned fields and its relation with certain models of teacher training in the scope of natural sciences.

KEY WORDS: Natural Sience, History, Epistemology, Didactology, Metascience, Teacher Training, Research, Sciences, Scientific Education, Models.

1. INTRODUCCIÓN³

“[...] El orden que fue creado por la ley de gravitación de Newton [...] es un orden que no podía esperarse en principio. Aquí yace el sentido de maravilla que aumenta a medida que se desarrolla nuestro conocimiento [...] Aquí está el punto débil de ateos y positivistas profesionales, que se sienten felices por haber vuelto al mundo no solamente libre de Dios sino también libre de asombro [...]” (A. Einstein)

Una cuestión esencial para comprender el actual proceso de vertiginosa transformación social, cultural y científica de los países en vías de desarrollo es, entre otros fenómenos relevantes, el crecimiento exponencial de los conocimientos, junto a la realidad que configuran las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en las modalidades de apropiación, uso y gestión de los productos de la Ciencia, así como los diversos y complejos cambios de los sistemas productivos locales, nacionales y regionales. La educación científica y tecnológica actual ya no puede tener como referente curricular la imagen de Ciencia y de enseñanza de las ciencias que se fue

configurando desde la Sociedad Industrial europea a fines del siglo XVIII, vinculada al control social de las clases dominantes tal como lo plantea Shapin a propósito de la Enseñanza Tecnocientífica en la Inglaterra Victoriana del siglo XIX⁴, quien indica que: “[...] Nuestra interpretación provee una explicación integrada acerca de las relaciones entre los propósitos del control original de los [Mechanic’s] Institutes y la naturaleza del conocimiento científico presentado en su currículum [...]”

En definitiva, resulta imprescindible que el profesorado de ciencias comprenda y asuma las nuevas categorías teóricas y praxiológicas derivadas de una concepción de Ciencia y de enseñanza de las ciencias generada y consolidada en la llamada *Sociedad del Conocimiento*. En este ámbito de una “nueva cultura docente de la educación científica” habría que decir que la transferencia de conocimiento en el aula debería superar las opciones reduccionistas y dogmáticas de los modelos de formación inicial y continua del profesorado y del aprendizaje de las Ciencias Naturales para promover el desarrollo de competencias y habilidades cognitivo-lingüísticas en los estudiantes facilitando la integración cultural, el desarrollo del pensamiento creador y de unos ciudadanos comprometidos con el complejo tejido social y el dinámico engranaje del crecimiento económico, así como la promoción y consolidación de los valores democráticos en nuestros países (Quintanilla, M. y otros, 2006)

En este artículo quisiera desarrollar dos ideas fundamentales. En primer lugar orientar algunas reflexiones acerca de la Ciencia construida y de la Ciencia enseñada, es decir, el fenómeno histórico y epistemológico recogido por la *didactología* y su ámbito de conocimiento e investigación. La otra idea que pretendo compartir es establecer las tendencias actuales en relación con los aportes de la *didactología* a la formación del profesorado científico, el currículum y el conocimiento escolar. El norte de estas ideas es proporcionar algunos elementos de análisis que permitan comprender la situación actual de la *didactología como una metaciencia* que refiere un campo de conocimiento y de investigación específica en la formación del profesorado, particularmente en la educación científica. Para ello, se desarrolla un breve comentario de carácter teórico e interpretativo-histórico, intentando situar aquellos factores y variables que condicionan o determinan el posicionamiento y consolidación de esta metadisciplina en la investigación educativa y su relación con determinados modelos de formación profesional docente en el ámbito de las ciencias naturales.

2. CONSTRUIR Y ENSEÑAR CIENCIA HOY: ¿QUÉ CAMBIA EN LA CULTURA DOCENTE?

La manera de construir y resignificar la historia de la Ciencia (y con ello su divulgación y enseñanza), a lo largo de los siglos, es a veces compleja, otras misteriosa, y en algunos casos inexplicablemente controvertida, por tanto, *el objeto de la Ciencia* como trabajo real es difícil de describir (Barona, 1994) (y más aún de enseñar y aprender). Desde esta mirada, en la formación científica hemos de ser conscientes de que lo que comunicamos a otras personas (la Ciencia construida) no es fácil de modelizar si no asumimos como condicionantes de la formalización profesional elementos epistemológicos, históricos, praxiológicos, teórico-disciplinares, pedagógicos, axiológicos y didácticos, entre otros. A ello me referiré más adelante.

En lo que la Sociología de la Ciencia denomina la postmodernidad, la consolidación de las relaciones entre Filosofía e Historia es lo que da origen a las teorías actuales de la Ciencia. Se construyen así una serie de *modelos de Ciencia* en los cuales ya no interesa solamente la justificación del conocimiento, sino que se habla también de *cómo* se descubre. Hasta este momento, la Filosofía de la Ciencia creía que el descubrimiento era algo psicológico, que no se podía estudiar desde el punto de vista ontológico o filogenético y que, en definitiva, correspondía a la psicología preocuparse de esta cuestión. Pero hoy en día, sabemos con demasiados argumentos a favor que no es así puesto que los filósofos con ayuda de la historia comienzan a hacer modelos de descubrimiento científico que están resignificando la comprensión acerca de la evolución y la enseñanza del conocimiento (Chalmers, 1993).

Las últimas investigaciones en Didáctica de las Ciencias Naturales sobre formación docente plantean la necesidad de que el profesorado conozca qué es la Ciencia, por qué es enseñada, cuál es la naturaleza del conocimiento científico, cómo se adquiere conocimiento conceptual, de qué forma se desarrolla conocimiento procedimental sobre Ciencia y cuáles son los métodos o estrategias de enseñanza que facilitan apropiadamente la adquisición de conocimientos científicos (Copello, M.I., 1995, 2002). Los resultados demuestran con demasiada evidencia que una gran parte del profesorado no valora los aspectos filosóficos que entrañan la Didáctica de las Ciencias como disciplina metacientífica a la hora de desarrollar competencias y habilidades en sus estudiantes (Quintanilla, M., 2006). De esta manera se considera que la Ciencia es un conjunto de conocimientos constituidos, hechos, leyes y fórmulas establecidas *por un tipo especial* de personas, cuyos atributos excepcionales las hace distintas del “resto

de la comunidad”: los científicos. También suponen que la Ciencia explica perfectamente la realidad y en consecuencia “dice la verdad”. Respecto al alumnado, se cree que llega al aula con la ‘mente vacía’ en lo que a conocimientos científicos se refiere, así que su forma de enseñar las ciencias consiste, en este caso, en exponer lo más claramente posible los contenidos conceptuales y las demostraciones experimentales utilizando todos los recursos necesarios, preguntando y corrigiendo los “errores” del alumnado en cuanto aparecen *incorrecciones*; unas clases bien preparadas y la responsabilidad del alumnado para estudiar son garantía de que las ciencias se aprendan (Pozo, I. y Gómez, M., 2003). Este es un modelo *tradicional* de enseñanza de las Ciencias Naturales que favorece una postura más bien reproductiva y simple del conocimiento científico, pero que no enseña a pensar ni a comprender los fenómenos del mundo real basándose en modelos teóricos, y que aún permanece arraigada culturalmente en la mayoría de nuestras escuelas e instituciones.

Otra parte del profesorado interpreta la Ciencia como forma de indagación, de encuentro de leyes naturales, pero es consciente de que, al no poder aprenderse la “ciencia real”, lo más importante es enseñar a trabajar “el método científico”⁵ para que se pueda aplicar y por tanto, al enseñar ciencias proporcionan los materiales y actividades que motivan a comprobar, curiosar y preguntar sobre los temas que se enseñan, demuestran cada paso de forma ordenada, diseñan el trabajo de laboratorio donde el profesorado observa si el alumnado comprende “adecuadamente” (desde su lógica) “el método científico”. También considera que el pensamiento del alumnado madura con la edad, de manera que si no aprende es porque aún no ha llegado a la etapa correspondiente de desarrollo de las operaciones que le permite acceder a ese conocimiento específico. En consecuencia, es necesario adecuar los contenidos científicos a la etapa evolutiva del alumnado y enseñarle la metodología científica ya que, en condiciones ideales, puede llegar a redescubrir la Ciencia. A este modelo de enseñanza se le ha llamado *descubrimiento* y ha sido ampliamente cuestionado a partir de los años 90 (Izquierdo, M., 2000).

Frente a estos modelos de enseñanza, surge en la comunidad de didactas una alternativa filosófica de corte más protagónico del alumnado, en la cual se considera que la Ciencia es una construcción humana con carácter temporal (pues depende del momento histórico, político y social en el que se construye ese conocimiento) cuya intención es explicar la realidad a partir de las elaboraciones científicas, las cuales son validadas dentro de la comunidad correspondiente, a través de diversos criterios de rigor

tales como los de tipo racional y empírico. La concepción de aprendizaje que subyace a esta imagen de la Ciencia tiene en cuenta que la mente del alumnado desarrolla ideas *alternativas o espontáneas* y que aprende si es capaz de relacionarlas con las nuevas informaciones que recibe intencionalmente. Al profesorado le interesa conocer estas ideas, hacerlas explícitas y conscientes en sus estudiantes, favoreciendo la duda, el conflicto, la interacción entre sus ideas y las ideas del resto, invitándoles a predecir y a argumentar, todo lo cual le permite elaborar progresivamente explicaciones más poderosas frente a los fenómenos, que se asemejan así a las desarrolladas por la comunidad científica en la historia y a los diferentes modos de identificar y caracterizar esas ideas (Fourez, G., 1998, Giere, R., 1994, Klimovsky, G., 2001).

El resultado de esta llamada “nueva etapa de las ciencias” es la superación de los modelos de ciencia *categoricos o absolutistas* tales como el empirismo, el positivismo y el racionalismo radical de fines del siglo XIX. Los nuevos enfoques acerca de la naturaleza de la Ciencia han recibido el nombre *de modelos constructivistas* y consideran los aspectos de justificación y descubrimiento del *saber erudito de la Ciencia*, insistiendo en el hecho de que los procesos que sigue el alumnado cuando *intenta aprender* o el profesorado cuando *intenta enseñar* ciencias no pueden ser diferentes de aquellos que se siguen para justificarla puesto que una y otra cosa se identifican en el proceso de enseñanza, evaluación y aprendizaje (Izquierdo, M., 2000). Esta es una de las complicaciones que surge con frecuencia en los libros de texto al utilizar lenguajes y argumentaciones que el alumnado no entiende o que a la mayoría del profesorado no le resultan convincentes a la hora de enseñar; sin embargo, este último continúa siendo “fiel” a los currículos explícitos de las instituciones o comunidades científicas. No obstante, los mismos lenguajes y argumentaciones formales son útiles en la comunicación científica experta (la de los científicos). Por ello, una de las tareas prioritarias de la Didáctica de las Ciencias Naturales ha de ser transferir un lenguaje, a través del cual la Ciencia sea comprensible y pueda posteriormente axiomatizarse con la lógica formal propia de la Ciencia utilizando incluso su propio lenguaje (Izquierdo, M., 1994). En definitiva, las diferentes posturas que han sido consideradas para justificar el *saber científico erudito* en la historia deberían orientarnos para configurar un modelo curricular de “formación científica” sustentado en una imagen de la Ciencia que sea coherente con los procesos de enseñanza y de desarrollo profesional. Estos modelos de Ciencia y sus diferentes categorías teórico-metodológicas deberían distinguir los componentes sustanciales de la formación profesional científica y aquellos que vinculen

la Ciencia con la tecnología y la apropiación social y cultural que de ello se derive. La respuesta a *cómo* enseñar este *conocimiento científico*, desde una visión comprensiva de la naturaleza de la Ciencia, es uno de los fundamentos más contundentes para incorporar la Didáctica de las Ciencias Naturales en la formación profesional científica (Quintanilla, M., 2004).

2.1. La didactología: una metaciencia en sistemática consolidación

Como he sostenido insistentemente en otras publicaciones, el desarrollo, evolución y consolidación de la Didáctica de las Ciencias Experimentales referido a un campo de conocimiento e investigación es de suyo complejo y diverso en temáticas, orientaciones teóricas y diseños metodológicos (Quintanilla, M., 2004). En general, en la comunidad de *expertos* se desconoce el carácter *científico* de estas aportaciones, debido a la persistencia de estereotipos o representaciones incompletas de la naturaleza teórica de la Didáctica de las Ciencias, su objeto de conocimiento, estrategias de investigación, producción y divulgación. En este sentido, si tuviéramos que incorporar algunas precisiones conceptuales, diríamos que la Didáctica de las Ciencias Experimentales se encuentra en el “imaginario colectivo” en la postura de la así llamada *pedagogía tradicional* donde el proceso de enseñanza, evaluación y aprendizaje es entendido como la transmisión-recepción del *saber específico* que maneja el experto (saber erudito). Esta tendencia corresponde a la visión instrumentalista, reproductiva o, diríamos si acaso, ingenua del conocimiento caracterizada epistemológicamente por la “lógica positivista” más extrema de la naturaleza de la Ciencia y sus metodologías; y psicológicamente por la visión conductista del aprendizaje y su enseñanza (Quintanilla, M., 1977). Tal visión se ha traducido en prácticas de formación profesional excesivamente directivas que se plasman muchas veces en “prototipos intuitivos” acerca de las maneras de aprender las ciencias en la formación profesional, sobre las finalidades de la enseñanza científica (saber-aprender-aprobar), sobre el contenido específico que se comunica; el tipo de prácticas experimentales; los propósitos de los diversos recursos o medios que se utilizan (tales como los libros especializados), así como los indicadores, instrumentos, criterios y estrategias de evaluación que se estiman oportunos, la mayoría de las veces, conectados a una definición o imagen tradicional de la Ciencia. Otra posibilidad en esta misma línea es la de potenciar el conocimiento llamado “oficial” desde una lectura de control simbólico cuyos códigos de identidad restringida no colaboran a la comprensión de la realidad compleja del propio

conocimiento científico que se modeliza y construye formalmente en planos diversos de amplitud cultural y valórica (Bernstein, B., 1988, Etcheverría, J., 2002).

Sin embargo, las tendencias contemporáneas más recientes, derivadas de sólidos procesos de investigación sistematizados en los últimos veinte años, principalmente en Europa y América Latina, fortalecen el carácter *metadisciplinar* de la Didáctica de las Ciencias Experimentales, que se constituye en un campo científico en el que la formulación y construcción del conocimiento adquieren una connotación y denotación dinámica del *saber erudito* que por su naturaleza está en permanente transformación y reconstrucción teórica. Así, resulta lógico imaginar una *representación naturalizada* de la Ciencia, más cercana a las finalidades de una comunidad, en la que los consensos científicos están condicionados por los valores de una época, con objetivos que son compartidos, aún entendiendo la validez que otorga la diversidad para construir y comprender el conocimiento especializado de la Ciencia con diferentes enfoques o marcos teóricos de referencia. Esta orientación, que hemos analizado también desde una lógica histórica, corresponde a una visión interpretativo-crítica de la Ciencia, sus propósitos, sus métodos, instrumentos, lenguajes y valores como elementos mutables. Desde esta perspectiva, el científico, de alguna manera, *modela* el conocimiento específico que enseña sobre la base de una *racionalidad moderada* y por lo tanto lo representa en función de unas finalidades distintas a las tradicionales cuando lo transfiere a los profesionales de Ciencia en formación (Izquierdo, M., 2000). En esta postura, las ciencias son vistas como empresas profundamente humanas: su objetivo es interpretar el mundo utilizando para ello la capacidad de emitir juicios y de razonar adecuadamente con lógicas distintas, lo que lleva a desdibujar las fronteras entre el pensamiento científico y el pensamiento cotidiano dando lugar a nuevos modelos de Ciencia y propuestas para enseñarla con una apropiada argumentación histórica, epistemológica y didáctica (Quintanilla, M., Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A., 2005).

Es a partir de los años cuarenta del pasado siglo cuando se empieza a consolidar la idea de que “todo está impregnado de teoría”, es decir, de que vemos el mundo y lo representamos de acuerdo con nuestras propias ideas. En este sentido, me ha parecido de muchísimo interés la visión de Goethe en su ensayo *El experimento como mediador del sujeto*, escrito en 1792 (aunque no publicado hasta 1823) donde insiste en la relación entre ideas, objetos y experiencia como un todo continuo de naturaleza dialéctica⁶.

Uno de los aportes que apoyará este planteamiento epistemológico será la pragmática de la lengua, que consolida la idea de que el lenguaje tiene distintos usos y

no sólo el de *describir* el mundo: ha de servir para preguntar, expresar, explicar, categorizar, definir, etc. Desde luego, en el ámbito de las clases de Ciencias Naturales, no podemos eludir que hay unas relaciones conceptuales, simbólicas y normas cuyo juego lingüístico confiere representaciones sociales y costumbres diferentes a las palabras según las empleemos con determinada intencionalidad y función comunicativa⁷. Esto significa que existen unas conexiones específicas entre los contenidos científicos –doctos y profanos– que se ‘tejen’ entre sí de determinada manera, promoviendo una imagen de Ciencia –y de cómo se ha construido el hecho histórico de la Ciencia– que subyace en los libros de texto y en las distintas estrategias que en la docencia y en la divulgación especializada o no de la Ciencia se desarrollan para comunicar la actividad científica en el aula o fuera de ella a las diferentes audiencias (Quintanilla, M., 2006^a).

Para Pierre Bourdieu⁸, las reglas del método científico tal y como se hacen explícitas por la lógica de la Ciencia, no corresponden a la realidad de las prácticas, promovándose así una idea de comunidad científica *cerrada*. Decir ‘hermética’, pienso incluso que no sería arriesgado pero implicaría un cierto grado de polémica, si asumimos que muchas veces la divulgación científica se orienta a determinados públicos para intentar que sea socialmente aceptable y técnicamente comprensible, aunque se queda lejos de lograrlo. Para Bourdieu, su investigación se refiere a un abanico muy definido de problemas, cuyo *paradigma o matriz disciplinaria*⁹ es aceptada por una fracción importante de la comunidad científica que tiende a imponerse a todas las demás de manera continua y disciplinada, no sólo para validar el conocimiento construido, sino para legitimar la *autoridad* de sus acciones, procedimientos y convicciones. Esto, indudablemente, hace pensar a quienes escuchan una conferencia o leen sobre la Ciencia divulgada que su lenguaje es difícil de entender, construir y, por tanto, de enseñar y aprender¹⁰.

No olvidemos que los diferentes ámbitos o contenidos de la ciencia, han experimentado (y continúan haciéndolo) complejas y persistentes transformaciones como consecuencia de la natural creación de nuevo conocimiento científico. En consecuencia, requieren de una actualización oportuna desde la perspectiva del desarrollo profesional del profesorado de ciencias en formación y en ejercicio; así como de las comunidades científicas en particular y del alumnado en general. Sin embargo, diversas investigaciones dejan en evidencia que *no existe una cooperación efectiva entre la comunidad científica y la docente y educadora en Ciencia en la mayoría de los*

países, puesto que las Reformas Educativas han sido parciales o bien, incompletas, manteniéndose las filosofías tradicionales de formación profesional, siendo los cambios generalmente instrumentales y operativos, más que teóricos o paradigmáticos. Creo que son muchísimas las razones que, desde diferentes ángulos, nos explican esta situación en distintos planos de análisis: razones económicas, políticas, filosóficas, pragmáticas, culturales, sociales o laborales, por nombrar quizá las más relevantes. Sobre la base de la finalidad de este artículo, sólo enunciaré en esta oportunidad algunas ideas que no son triviales, no porque se señalen aquí, sino porque estoy convencido de que deberíamos dedicarnos expresamente a analizarlas y discutir las con detalle en otro momento. Para ello, partiré del planteamiento de algunas preguntas a modo de hipótesis que me parecen importantes:

* *Primera reflexión:* Cuando hablamos de Ciencia, desde la perspectiva de la Educación y de las comunidades científicas, ¿estamos entendiendo lo mismo? ¿Nos representamos ideas similares sobre la naturaleza de la Ciencia, su objeto y metodologías de investigación? ¿Entendemos estructural y funcionalmente análogos de teoría y campo en estas profesiones? Mi hipótesis (hipótesis 1) es que sí. Generalmente, ambas perspectivas mantienen ideas similares sobre la Ciencia y su enseñanza, las que como veremos más adelante, paradójicamente conspiran entre ellas para mantener un enfoque epistemológico dogmático *acerca de y sobre la educación científica*.

* *Segunda reflexión:* Cuando hablamos de construcción de conocimiento científico y enseñanza de las Ciencias, ambas perspectivas, educadora y científica ¿sostienen argumentos teóricos sólidos y similares para comprender las complejas rutas que se establecen entre el objeto científico, las ideas, los instrumentos, las teorías científicas, los problemas que pretenden resolver, las formas de expresar los resultados, su comunicación y aprendizaje? Mi hipótesis (hipótesis 2) es que, habitualmente, no se tienen argumentos *ni sólidos ni similares* sobre las complejas rutas de construcción del conocimiento científico y su aprendizaje. Me parece que la ausencia de identificación, estructuración y caracterización de dichos argumentos también explica, en parte, la falta de colaboración efectiva entre ambas comunidades además del persistente desconocimiento por un número significativo de docentes del carácter metacientífico de la “nueva didáctica” o didactología de las ciencias, aún cuando las evidencias de producción científica sean más que contundentes¹¹.

Hace ya algún tiempo, planteaba en un artículo de divulgación¹² que la persistente suposición teórica de los implícitos *tradicionales o dogmáticos* acerca de la Didáctica

como área de conocimiento ha determinado que muchas reformas educativas fracasen o se atenúen sus resultados al no interpelarse, coherentemente, las categorías o modelos teóricos de análisis en relación con esta disciplina, sus finalidades y los heterogéneos propósitos culturales, metodológicos, instrumentales o interpretativos de dichas reformas. Hablo de heterogéneo en el supuesto sociológico que implica diversidad teórica, aún cuando las finalidades apunten a lo contrario, esto es hacia la homogeneización del conocimiento y sus intenciones, lo cual se debe, en mi opinión, a la persistencia de ambigüedades u omisiones de “investigadores o especialistas” que creen comprender la disciplina metacientífica sobre la base de una inmersión que teóricamente podría describirse como ahistórica; o bien situando a la didactología desde sus propias convicciones o intuiciones lo que, lamentablemente, ha contribuido en los últimos años a una discusión estéril, a mi modo de ver innecesaria, siendo en la gran mayoría de los casos la causa detonante de un reduccionismo lingüístico, operacional y metodológico en relación con la Didáctica como campo de conocimiento y de investigación.

Estas dependencias o incertidumbres no estructuran *modelos interpretativos* que sean coherentes con el posicionamiento actual de la Didáctica de las Ciencias Naturales como una metaciencia, esto es un cuerpo de conocimiento que se caracteriza por la integración teórica, no instrumental, que identifica, describe y caracteriza la complejidad de factores que influyen, condicionan y determinan la enseñanza de las ciencias y cuya fundamentación epistemológica en la formación docente promueve hoy una visión *racional y razonable* de la naturaleza de la Ciencia y su aprendizaje. Esto es, la concepción de una Ciencia con finalidades humanas de intervención y transformación del mundo, basada en una racionalidad moderada de sus teorías, su metodología de investigación y enseñanza cuya directriz fundamental es el modelo cognitivo de Ciencia, que se ajusta muy bien a esta nueva imagen de Ciencia que pretendemos consolidar. Giere (1992) utiliza este modelo para la Ciencia de las comunidades científicas, proponiendo que para saber *cómo es* una teoría científica es necesario saber cómo las utilizan, de hecho, los miembros de estas comunidades en sus prácticas cotidianas. De esta manera, analiza cómo aparecen las teorías en los libros de texto especializados y cómo se usan en las discusiones y contextos científicos específicos, calificando su postura como **realismo naturalista o realismo pragmático** (Izquierdo, M., 2000). Es *realista* porque considera que la Ciencia intenta representar e interpretar el mundo con determinadas ideas, y *naturalista* porque pretende explicar los

juicios y decisiones científicas a partir de los criterios propios de los científicos y no de principios racionales de carácter general tal como lo plantea el positivismo tradicional. Esta sería, por así decirlo, la novedad epistemológica de este modelo que permite resignificar la didactología de las ciencias, cuyos principales postulados destacan que: *el mundo se interpreta con teorías, el método de interpretación del conocimiento es evolutivo y natural (por lo tanto muy diverso); y dicho modelo y su interpretación han de tener un “sentido humano”* (Izquierdo, M., 2000).

Ronald Giere confiere un lugar preferencial a lo que llama Modelos Teóricos. La idea central de *modelo teórico* es que construimos en nuestra mente estructuras complejas, las *representaciones mentales*, parecidas a las que utilizamos en la vida cotidiana y que consisten en la representación de los fenómenos y los principios que vinculan las entidades entre sí, teniendo como unidad estructural los conceptos científicos que actúan como “mapas internos del mundo externo” (Fig.1). La principal diferencia sería que las representaciones científicas utilizan un lenguaje axiomatizado o algorítmico y las cotidianas no. Los modelos teóricos son, en esta concepción, medios a través de los cuales las comunidades científicas representan el mundo, tanto para sí mismas como para los demás y, en consecuencia, son ajustes del mundo externo en ciertos aspectos, con determinados propósitos que no se pueden calificar de verdaderos o falsos (Quintanilla, M., 1999).

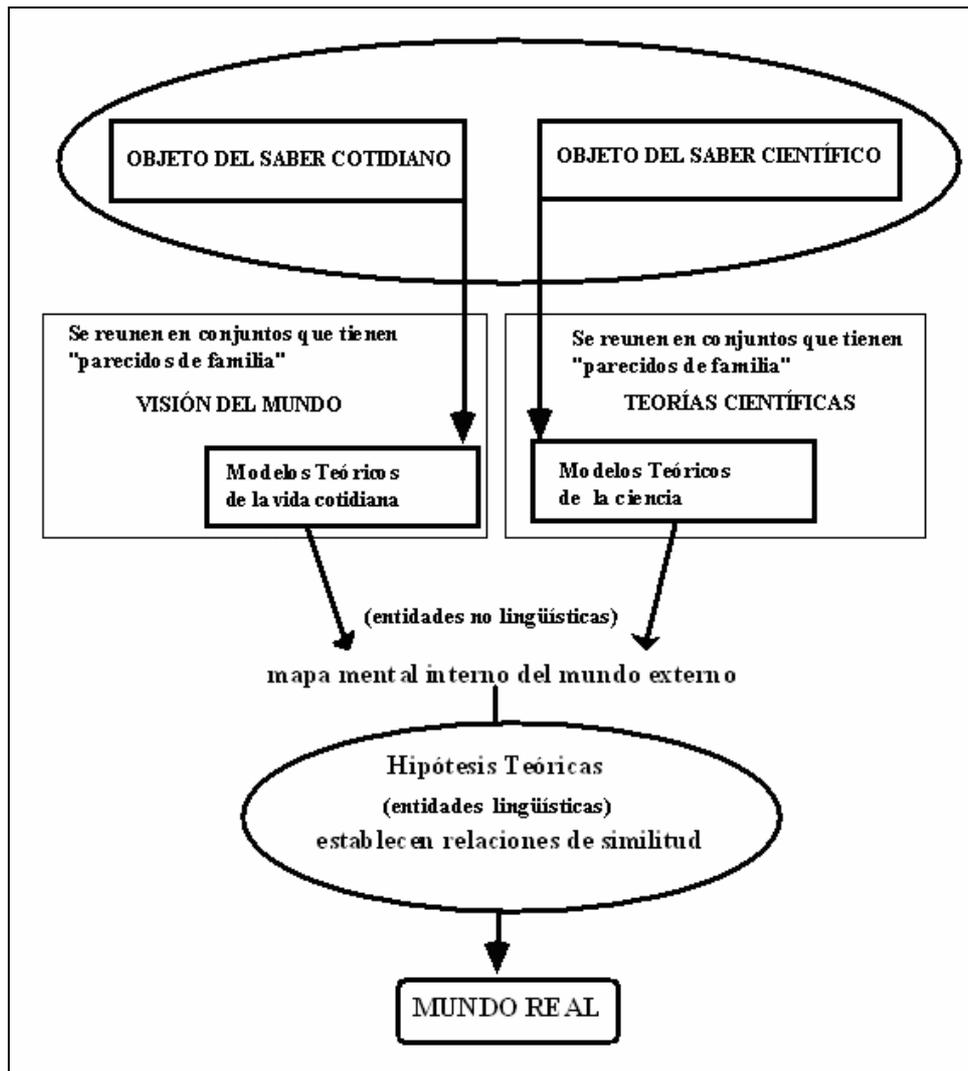


Figura 1. Representación de la integración entre "saber cotidiano" y "saber científico" a partir de la Teoría de Giere según Copello (1995).

2.2. Necesidad de una identidad y caracterización teórica propia

En la actualidad, muchas escuelas de pensamiento y de investigación situadas en las disciplinas de carácter metacientífico –como la Epistemología, la Historia de la Ciencia y la Didáctica de las Ciencias Experimentales– definen el conocimiento científico como una *actividad humana* de producción, evaluación, aplicación y difusión de saberes inmersa en un contexto histórico, social y cultural que da sentido a la llamada “actividad científica” al precisar las finalidades de intervención que se persiguen y los valores que se sostienen o están en juego en las comunidades e instituciones científicas (Quintanilla, M., Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A., 2005; Quintanilla, M. y otros, 2006).

Si en algo estamos de acuerdo, quienes educamos en Ciencias y quienes las construyen, es en que existen una “historia y una Filosofía de la Ciencia” que han orientado desde las civilizaciones antiguas hasta nuestros días las “nuevas y viejas preguntas” sobre el macro y el microcosmos. Hoy, existe unanimidad en torno a esta cuestión en las comunidades de expertos que *han evolucionado conceptualmente en sus modelos de Ciencia y de enseñanza de las ciencias* (lo que me permitiría argumentar la hipótesis primera a la que hice alusión anteriormente), donde la continua sistematización de teorías derivadas de ámbitos diversos (psicológicas, neurolingüísticas, sociológicas, filosóficas, históricas, curriculares, cibernéticas, etc.) ha facilitado el asumir la integración de los saberes eruditos en un enfoque de transdisciplinariedad y complejidad que requiere del *análisis didáctico de los contenidos científicos*, esto es, superar la tradición retórica del *arte de enseñar ciencias* y asumir una tradición teórica de *reflexionar utilizando modelos* sobre la construcción sistemática de la Ciencia, su historia, enseñanza, evaluación y aprendizaje (Álvarez Lires, M. y otros, 2005; Solsona, N. y Quintanilla, M., 2005; Solar, H. y Quintanilla, M., 2005).

En la comunidad de investigación e innovación en Didáctica de las Ciencias Naturales se va llegando a algunos primeros consensos teórico-metodológicos acerca de qué hacer a la hora de tratar de enseñar las metaciencias al profesorado de ciencias en formación o en ejercicio de acuerdo con esta nueva cultura docente. Mi primera intención es contribuir en tal línea pensando sobre los contenidos y las metodologías más adecuadas para una apropiación significativa de esta componente curricular. Interesa, para ello, construir *directrices y bases orientadoras* tal y como se ha venido planteando en diversas contribuciones (Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M., 2002; Quintanilla, M., Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A., 2005) que provean de ideas útiles y, como hemos señalado, teóricamente fundamentadas a los formadores y formadoras del profesorado de ciencias. En este sentido, debemos reconocer primero cuáles son las características de la Didáctica que le confieren la acepción o identidad de metaciencia. Algunas de ellas serían las siguientes:

- (i) *Desarrollo de un campo estructurante de contenidos con marcos teóricos propios*
- (ii) *Consolidación de una metodología de investigación de carácter comprensivo-interpretativa*
- (iii) *Carácter histórico-dialéctico (y por tanto evolutivo) de sus campos de investigación*
- (iv) *Carácter interdisciplinar y a la vez autónomo de sus finalidades*

(v) *Desarrollo de un campo praxiológico y axiológico*

Que la *didactología* asuma el *desarrollo de un campo estructurante de contenidos con marcos teóricos propios* significa que ha logrado identificar y caracterizar un cuerpo conceptual dinámico que fundamenta su definición, metodología y finalidades. Este cuerpo conceptual tiene una justificación epistemológica, pedagógica y científica cuyos componentes interactúan sobre la base de modelos teóricos que le dan correspondencia y racionalidad¹³. Una segunda característica es la *consolidación de una metodología de investigación de carácter comprensivo-interpretativa*, cuestión muy relevante, puesto que la definición del campo teórico estructurante debe ser coherente con los métodos, técnicas, instrumentos y estrategias de investigación que le dan sentido a la búsqueda de evidencias empíricas, cuyos datos proveen la identificación y caracterización de categorías interpretativas bajo este supuesto epistemológico. De ahí el *carácter histórico-dialéctico de sus campos de investigación*, donde la determinación de nuevos modelos teóricos fundamenta el hecho de que la Ciencia no está acabada y, en consecuencia, está inmersa en un *contexto* cambiante, modificable, adaptativo (*visión dinámica* del conocimiento) del que dependen valores que se han de consensuar en la comunidad científica. *El carácter interdisciplinar y a la vez autónomo de las finalidades* de la didactología representa la idea de reconocer la identidad teórica de los diferentes modelos de conocimiento desarrollados y potenciados por las distintas disciplinas y asumir, al mismo tiempo, la naturaleza autónoma de su campo de investigación que requiere *contenido científico* propio. Finalmente, el *desarrollo de un campo praxiológico y axiológico*, implica asumir que la Ciencia es un proceso de constitución del saber con dimensiones no sólo históricas, sino también sociales y culturales que derivan en posicionamientos o paradigmas específicos (modelos teóricos dinámicos) de su epistemología, divulgación y enseñanza, así como de marcos de acción, instrumentación y valóricos socialmente compartidos, tal como plantea Etcheverría (2002)¹⁴ en lo que él llama la *actividad tecnocientífica*.

En un sentido aún más complejo, el camino de la formación científica requiere necesariamente una argumentación didáctica sustantiva conectada a la evaluación de los diversos factores que han condicionado, o determinado, las maneras en que se aprende a comprender la construcción del conocimiento científico, su enseñanza y divulgación, en distintas épocas y contextos culturales. En su libro *La comprensión humana*, Toulmin (1977) instala una interesante discusión teórica acerca del *cambio conceptual* y del

cambio científico en orden a comprender e interpretar las categorías a través de las que se moviliza el conocimiento desde la lógica del objeto y del sujeto de la Ciencia. Al respecto, el autor incorpora uno de los temas más polémicos para las concepciones “racionalistas duras” en el imaginario colectivo, esto es, la naturaleza valórica e intersubjetiva de la Ciencia y sus métodos. La base de su fundamentación establece al menos cinco tipos de “fenómenos científicos” ampliamente definidos y caracterizados: (i) aquellos que él denomina ‘racionales’ sin procedimientos disponibles; (ii) los que se explican hasta cierto punto y deseables de apropiarse de una mayor precisión y comprensión; (iii) los que establecen una mutua relación entre conceptos que coexisten en una misma rama de la Ciencia; (iv) fenómenos científicos en los que la relación entre conceptos, que coexisten en diferentes ramas de la Ciencia, puede explicarse desde diferentes ángulos, naturalezas y, (v) los denominados problemas entre conceptos y procedimientos relacionados con las actitudes cotidianas.

Por tanto, si se asume el carácter “dinámico y cambiante” del conocimiento científico, es evidente que la identificación, caracterización e interpretación de estos cambios debe estar integrada en la formación inicial y permanente del profesorado de ciencias, puesto que favorece la adopción de una *racionalidad moderada* acerca de hechos, fenómenos, métodos, instrumentos y contextos en los que dicho conocimiento se construye y, en consecuencia, se divulga y enseña con determinadas consecuencias para la reelaboración teórica (Quintanilla, M. y otros, 2006).

2.3. Factores que influyen en el posicionamiento de la Didactología como metaciencia en la cultura docente

Como he expresado en otros artículos¹⁵ y conferencias el aprendizaje de la Ciencia (y de hecho su divulgación y enseñanza) tiene que ver con la evolución y diferenciación de las ideas y de los puntos de vista, desde concepciones muy simples o poco elaboradas de la “actividad científica” a concepciones más complejas y robustas, insistiendo en que estos desarrollos, sólo son posibles, me parece, a través de la interacción social que requiere consensuar un modelo teórico acerca de la historia y naturaleza de la Ciencia de carácter moderado en la que su concepción *realista pragmática* sería su argumento epistemológico por excelencia¹⁶. Sin embargo, con distinta intensidad y frecuencia, sobre la base de investigaciones comparadas, los estudios serios en la materia, reconocen una serie de factores que influyen en el posicionamiento de la Didactología como metaciencia. Dichos factores son de la más

amplia procedencia, estructura y tipología y pueden clasificarse¹⁷, según se especifica en la tabla 1, en dos tipos: *sistémicos o estructurales* y *funcionales*. Evidentemente, la dialéctica propia de la generación y gestión del conocimiento científico, pedagógico y didáctico conlleva la vinculación en diferentes grados y niveles de ambos tipos de factores en la formación del profesorado de ciencias, en general, y en la enseñanza de las ciencias en particular. Algunos de estos factores, generalmente los de categorías sistémicas son, la mayoría de las veces, asumidos conscientemente por el profesorado. Otros, sin embargo, aparecen y desaparecen en el inconsciente colectivo docente con mayor o menor intensidad y frecuencia. Es aquí donde es posible identificar los *principales nudos paradigmáticos* que obstaculizan la promoción teórico-metodológica de la didactología como metaciencia.

Tipos de Factores	Características o Dimensiones	Ejemplos
Sistémicos o estructurales	Aquellos factores que tienen su origen o derivación en la macrogestión institucional, así como en el desarrollo y la construcción del conocimiento profesional de los profesores de Ciencia. Estos problemas son en su mayoría económico-dependientes de procesos estructurales o globales de difícil y profunda transformación.	Características y finalidades de los modelos de formación inicial y continua de los profesores de Ciencia; proyectos institucionales, curriculares y educativos (donde se interceptan situaciones de autonomía y dependencia en la gestión del conocimiento); condiciones y contratos laborales, Producción de nuevo conocimiento didáctico y profesional; conexiones escuela/ comunidad y la existencia de membresía científica, entre otros
Funcionales	Aquellos problemas que surgen y son propios del aula o que están vinculados directamente al quehacer profesional del profesorado de ciencias	Modelos de Ciencia y de enseñanza de las ciencias del profesorado; modelos, criterios, estrategias e instrumentos de evaluación de aprendizajes científicos, contenidos y objetivos propios de cada asignatura, discurso profesional y científico del profesorado, prácticas experimentales, salidas de campo, utilización de libros de texto, soportes informáticos y multimedia, metodologías y estructuración de la clase, actividades de aprendizaje, etc.

Tabla 1. Factores, características y dimensiones que influyen en el posicionamiento de la didactología en la cultura docente.

Si somos conscientes del sentido del análisis que se presenta y consideramos que toda cultura educativa es en realidad una *conversación* dinámica que se lleva a cabo de diferentes “modos simbólicos”, podemos establecer la relevancia del lenguaje en el discurso profesional científico y del profesorado en la educación científica, así como en el entramado valórico que se teje de manera implícita o explícita en las clases de ciencias. Toda cultura científica es producto de una historia propia y de los procesos de divulgación (y comunicación), que requiere la creación de los instrumentos, estrategias

y signos que le permiten manifestarse y que es *resignificada históricamente* (por lo tanto reconstruida con un determinado sentido y lenguaje) ¹⁸. La *nueva Ciencia* ya no se considera a sí misma como el resultado de una contemplación digamos “ingenua” del mundo, sino que reconoce algún grado *no despreciable de intervención activa en él* para transformarlo según una finalidad vinculada a unos valores específicos que se comparten y defienden en un clima democrático de auténtica comunidad¹⁹ (Izquierdo M. y otros, 2006).

2.4. Representaciones de la Didactología de las Ciencias Experimentales en la cultura científica y docente

Por tanto, la Didáctica de las Ciencias Experimentales puede entenderse de diferentes formas según sea adecuada a un conocimiento acabado para comunicarla al alumnado o aprendices (*visión estática-reproductiva* del conocimiento y del aprendizaje), o bien, *hacer revivir y comprender* en la clase de ciencias un determinado hecho del mundo o un hecho interesante de la vida cotidiana pensando que el conocimiento científico no está acabado y que, en consecuencia, tiene un *contexto* cambiante, modificable, adaptativo (*visión dinámica-evolutiva* del conocimiento y del aprendizaje). En síntesis, la Didáctica de las Ciencias debiera favorecer una aproximación a las preguntas: ¿Qué Ciencia enseñar? ¿Cómo enseñar Ciencia? ¿Para formar qué tipo de profesional? A continuación, en la tabla 2, se resumen y caracterizan brevemente algunas de estas ideas:

<i>Dimensiones de la Ciencia y su enseñanza en los modelos de formación profesional</i>	<i>Visión Ingenua o Instrumentalista de la Didáctica de las Ciencias Experimentales</i>	<i>Visión Crítica o Comprensiva de la Didáctica de las Ciencias Experimentales</i>
Naturaleza de la Ciencia	Racionalismo categórico. Objetividad como principio exclusivo de la Ciencia. Interesa el axioma por sobre todas las cosas. El algoritmo es la justificación de la “Ciencia observada” y medida. Prevalece el concepto de rigor, exactitud y precisión en un sentido estricto, lo más “cercano” a las <i>visiones clásicas</i> de la Matemática	Realismo pragmático. La Ciencia es vista desde una perspectiva naturalizada que incorpora elementos axiológicos, praxiológicos, culturales, históricos y lingüísticos. Los conceptos de rigor, exactitud y precisión se dan en una perspectiva de <i>racionalidad moderada</i> .
Metodología científica	De carácter no dialéctico. Las hipótesis deben ser ratificadas o anuladas. El diseño es exclusivamente de naturaleza hipotético-deductiva. Por tanto interesan los insumos y los resultados que le dan sentido al método de investigación	La metodología científica es de carácter dialéctico, se admite la duda en el diseño y consolidación del mismo. Interesa cuestionar la sistematización del método y la formalización como argumentos de “hipótesis” de trabajo que se reconstruyen permanentemente.

El lenguaje de la Ciencia	Algorítmico por excelencia. Desde su finalidad es instrumental y permite axiomatizar la teoría. Su formalización es la base ineludible para la comprensión de los modelos teóricos que se definen “a priori”	Interpretativo – comprensivo. Su retórica permite comprender las teorías y sus fenómenos en una actividad cuya formalización tiene un sentido vinculado a valores y a estilos de pensar, escribir y practicar la Ciencia
Instrumentos de investigación científica	No admiten la incerteza. Han de ser precisos y facilitar la “medida” desde un lógica estructural, operativa y descriptiva de las teorías y sus métodos	Los instrumentos también se cuestionan. Son indicadores parciales de la modelización teórica. Se resignifican en función de las finalidades propias de la explicación científica
El trabajo o la práctica experimental del científico en formación	Interesa “contrastar” la teoría de tiza y pizarrón con “actividades” que permitan comprobar el axioma teórico. La práctica es considerada la justificación del modelo teórico enseñado	El fenómeno experimental es considerado un componente importante para problematizar y resignificar los modelos teóricos. La actividad experimental es por tanto un momento privilegiado para discutir el origen, desarrollo y resignificar la transformación evolutiva de las teorías científicas.
Profesionales de Ciencia en formación	Concebidos como una <i>tabla rasa</i> . No conocen nada del contenido científico que se va a enseñar. Son “los futuros” científicos; los “alumnos” de determinado curso o especialidad	Concebidos como sujetos que tienen <i>ideas previas</i> acerca del conocimiento, su lógica y naturaleza, que condiciona o determina los “nuevos contenidos”. Son “colegas” en <i>formación temprana</i>
Los libros y las fuentes científicas	La Ciencia está escrita y debe aprenderse del mismo modo, reproduciendo fórmulas y algoritmos. El conocimiento es concebido en los libros de texto como una acumulación progresiva de teorías científicas cada vez más complejas	Aun cuando la Ciencia está escrita, está también “viva”. Por tanto, se han de aprender, cuestionar y resignificar las teorías y los fenómenos. El conocimiento es concebido como una evolución permanente de teorías que se reformulan permanentemente.
Los Objetivos del profesorado de ciencias.	Operacionales. Basados en la lógica y propósitos del enseñante-científico	Interpretativos. Reconocen el mundo y la cultura del “científico en formación” en una acepción amplia
Actitud hacia el aprendizaje científico	Cuantitativa, centrada en la “cantidad de conocimientos”. En el programa “oficial” y “formal” previsto en el curso.	Cualitativa, centrada en la “calidad de los conocimientos” y en la resignificación progresiva de las diferentes actividades contempladas en el programa de formación
La clase de Ciencia	Planificada a priori. Centrada en los contenidos y en la enseñanza. Su estructura tiene una lógica convergente. Todo está previsto. Concebida como si fuesen paquetes o “quantos” de información perfectamente estructurados	Planificada y en proceso de reconstrucción y resignificación permanente. Centrada en los procesos de formación y en el aprendizaje de contenidos, procedimientos y actitudes. El contenido es un recurso que puede resignificarse con diferentes énfasis y prioridades
El conocimiento (contenido) científico enseñado	Reproductivo y acumulativo. Con carácter normativo. Exclusivamente axiomático. Es concebido como un instrumento de producción estático y ahistórico que no se cuestiona	Dinámico y en permanente cambio. Permite comprender los hechos del mundo real. Es concebido como un medio estratégico para aprender a pensar con teoría la Ciencia construida
La evaluación de aprendizajes científicos	Centrada en los productos, en las calificaciones. En la prueba cuya intencionalidad es “pasar” de curso o “aprobar” la asignatura. Corresponde a la cultura escolar trasladada a la formación científica. Por tanto los instrumentos de evaluación de la Ciencia enseñada son “objetivables” y centrados exclusivamente en la información especializada. El aprendizaje científico es el <i>resultado</i> que se mide exclusivamente por las calificaciones. El modelo teórico de la evaluación está referido a medir	Centrada en los procesos de formación profesional, en el aprender a aprender la Ciencia, sus aciertos y contradicciones. Es un momento privilegiado para valorar el desarrollo profesional y el conocimiento como un medio para superarse y ser mejores. Por tanto los instrumentos de evaluación de la Ciencia enseñada son utilizados para aprender a pensar la Ciencia y el propio desarrollo

	<i>cuánto se aprende al final del proceso</i>	profesional. Potencian la comunicación, la aplicación y transferencia del nuevo conocimiento. El aprendizaje científico es un proceso complejo en evaluación continua, dinámica y permanente
Relación científico-científico en formación	Verticalista-autoritaria. Asimetría muy marcada entre el “que sabe” y el “que no sabe”. La relación reproduce el saber acumulado con un <i>racionalismo categórico</i> . El discurso del “experto que enseña” Ciencias es restringido, de carácter convergente y se reduce a las explicaciones de la “Ciencia escrita”	Horizontal, democrática. Asimetría funcional al que sabe y aprende “con el que ya sabe algo de lo que se le va a enseñar”. La enseñanza de las Ciencias tiene un componente histórico, comprensivo que favorece pensar con teoría dentro de un determinado contexto de racionalidad moderada. El discurso del profesor de Ciencias es desarrollador. Está abierto al diálogo. De naturaleza divergente

Tabla 2. Algunos rasgos de las visiones ingenua y crítica de la Didáctica de las Ciencias Experimentales en las concepciones de docentes de Ciencia (y de científicos “enseñantes”).

3. APORTACIONES DE LA DIDACTOLOGÍA COMO METACIENCIA A UNA NUEVA CULTURA DOCENTE Y CIENTÍFICA

Uno de los aspectos especialmente conflictivos del *conocimiento científico enseñado (o educado)* se refiere a considerar propuestas curriculares que favorezcan el desarrollo de personas motivadas hacia una permanente búsqueda de la verdad y la autenticidad; capaces de valorar su autoestima y desarrollar la autonomía y compromiso responsable frente a la tarea de aprender las ciencias, de ser parte de una ciudadanía consciente de los problemas coyunturales de su época; tolerantes con la diversidad religiosa y cultural, promotoras de la educación para el consumo y el desarrollo sostenible, defensoras de los valores democráticos y de los derechos humanos, es decir, de una *Ciencia para la ciudadanía*. Esta Ciencia deberá desarrollar una actitud comprensiva de los problemas sociales globales, utilizando el conocimiento como un referente complejo y dinámico en el cual los conceptos científicos se articulan con elementos éticos, estéticos, económicos, políticos, sociales y culturales facilitando, así, nuevos lenguajes para aprender a pensar comprensivamente el mundo y sus conflictos, una ciudadanía que desarrolle el gusto por el pensamiento científico, reflexionando sobre su propia experiencia de contribuir a las transformaciones de una sociedad injusta, en fin, recrear la Ciencia y la tecnología entendiéndola como una estrategia propicia para la convivencia, la participación y unos *valores universales* que se comparten (Quintanilla, Macedo y Katzkowicz, 2005; Quintanilla, M., 2006).

3.2. Algunas experiencias en Chile

La naturaleza y sentido de estas reflexiones teóricas e innovaciones, basadas en la *didactología como metaciencia*, pueden contribuir a mejorar la calidad del currículum de formación inicial del profesorado y favorecer un estilo más comprensivo para enseñar, aprender y evaluar las Ciencias Naturales en la Escuela (o en la formación profesional). Sabemos que estas innovaciones son complejas y requieren opciones institucionales cuya transformación opera no sólo en el replanteamiento de las ideas teóricas o de las estructuras operacionales de los modelos de formación inicial de los profesores de Ciencia, sino que, sobre todo y, básicamente, lo hace en un nuevo sentido de la cultura docente.

En Chile, particularmente en el Departamento de Didáctica de la Facultad de Educación de la Pontificia Universidad Católica de Chile, hemos introducido paulatinamente en los últimos cinco años, la temática de la didactología como metaciencia desde una *postura crítica* en diferentes niveles: el programa de formación pedagógica para personal científico, los seminarios interinstitucionales de formación científica y docente, el desarrollo de tesis doctorales vinculadas a problemas de enseñanza científica en el área de la Biología, la Física y la Química, así como la constitución de un equipo multidisciplinar de formación, investigación y producción de material científico con fines docentes: el Grupo GRECIA. En cada uno de estos ámbitos de formalización, se trata de potenciar la idea de que la Didáctica de las Ciencias se constituye en un cuerpo de conocimientos que opera sobre la base de una visión naturalizada de la Ciencia y su enseñanza, a la que hacíamos alusión en este artículo. En este sentido hemos desarrollado modelos teórico-metodológicos, instrumentos y estrategias de evaluación y cursos de doctorado especializados en temas tales como: resolución de problemas científicos en el aula, Historia de la Ciencia y Didáctica, diseños y metodologías de investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales, teoría y práctica del conocimiento educativo, por nombrar sólo algunos.

Actualmente, estamos trabajando en propuestas de cursos de profundización institucional y en la elaboración de materiales para incorporar otros temas de las metaciencias tales como la *Epistemología* y la *Historia de la Ciencia* en la formación inicial del profesorado, del mismo modo que continuamos preocupándonos de la formulación de modelos teóricos para incorporar las metaciencias en la formación continua del profesorado de Ciencias Naturales. Algunos de nuestros materiales ya han

sido publicados y se están utilizando en grupos de innovación docente y de investigación que son conscientes de la coexistencia y persistencia de ideas sobre la naturaleza de la Ciencia, que deben todavía evolucionar hacia nuevos modelos epistemológicos y didácticos.

4. A MODO DE REFLEXIONES FINALES PARA EL DEBATE TEÓRICO

Para nadie resulta desconocido que el conocimiento científico juega un rol central, relevante y trascendente en el desarrollo y el crecimiento con equidad, así como en la toma de decisiones relacionadas con diferentes aspectos del ser humano y, en general, con la vida en este planeta. Del mismo modo, el conocimiento científico adquirido por los estudiantes debería ser persistente y significativo, lo que de acuerdo con teorías modernas y tendencias internacionales sobre modelos de formación profesional en el área de las ciencias se lograría a través de un proceso de construcción activo y protagónico en el interior de cada sujeto, donde las concepciones o ideas previas resultarían ser de carácter esencial para la comprensión de las teorías y modelos explicativos *acerca de y sobre la Ciencia*, su método y su naturaleza. En síntesis, la didactología de la educación científica debiera orientar, en mi opinión, la formación temprana y continua del profesorado sobre la base de las siguientes dimensiones y atributos:

Dimensiones de la didactología de las Ciencias experimentales	Atributos, condiciones teóricas mínimas
<i>La emergencia de un nuevo modelo de Ciencia en la comunidad científica y docente</i>	Construcción humana dialógica, que está fundamentada en valores que cambian y complementaria de otros aspectos de la actividad humana: la Ciencia se presenta ahora de manera menos triunfalista, más humana y más realista, racional y razonable con una finalidad ciudadana
<i>Teorías científicas</i>	Modelo semántico de teoría científica, el cual destaca, como tema fundamental que la teoría tenga sentido en relación con el mundo real
<i>Racionalidad de la Ciencia</i>	En los cambios de teoría son muy importantes los juicios de los científicos
<i>Experimentos - evidencias</i>	Ya no se consideran “totalmente objetivos” sino que son “flexibles” puesto que derivan “hechos interpretados” de manera diversa
<i>Realismo científico (pragmático)</i>	Lo que podemos decir del mundo depende de la perspectiva de nuestro estudio (finalidades, instituciones implicadas, lenguajes e instrumentos disponibles). Es un “realismo pragmático” frente al “realismo ingenuo” de otros modelos de Ciencia (Izquierdo, M., 2000)
<i>Valores</i>	Consensuados y compartidos socialmente por la comunidad
<i>La actividad científica</i>	Ha de ser contemplada como un proceso social y técnico. Podemos comprender la importancia creciente que tienen los currículos denominados CTSC (Ciencia, tecnología, sociedad y comunicación)

<i>La educación científica</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ha de ser abierta a las preguntas de los alumnos, respetando los contextos culturales, la diversidad y las ideas propias de los estudiantes asumiendo que deben evolucionar progresivamente • Debe incorporar un modelo de evaluación de aprendizajes dialógico, crítico e interpretativo para enseñar a pensar y no “para aprobar” el curso o la materia escolar o profesional • Debe estar incorporada a la vida misma intentando potenciar la comprensión del mundo real, promoviendo una actitud ciudadana de gestión y protagonismo frente al conocimiento que es público
--------------------------------	--

Tabla 3. Dimensiones y atributos de la didactología de la educación científica.

Junto a ello, es necesario que las prácticas evaluativas del profesorado de Ciencias Naturales posibiliten a sus estudiantes el evidenciar cómo van logrando acceder al mundo de las ciencias, no solamente por la vía de los resultados (las calificaciones), sino también por la vía de los procesos que se dan en ellos para lograr adquirir un determinado conocimiento, lo cual les permitiría generar más instancias de autorregulación de la calidad de sus aprendizajes, identificando logros, criterios, obstáculos, etc., potenciando así competencias y habilidades científicas que los preparen para la vida y el éxito profesional, debidamente intencionado.

NOTAS

¹ Este artículo es un producto científico del Proyecto de Cooperación internacional DURSI –CONICYT que coordina el autor entre la Pontificia Universidad Católica de Chile y la Universidad Autónoma de Barcelona (España).

² Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas. U. Autónoma de Barcelona, España. Director del Proyecto MECESUP (2001-2004).

³ Una primera aproximación teórica en este sentido fue publicada en la *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, Vol 16, nº 1 pp 9-30 (junio, 2004) con el título de: “Algunas reflexiones que justifican la necesidad de comprender y direccionar la didáctica de las Ciencias experimentales en la formación profesional del científico” (Quintanilla, M.).

⁴ (Traducción libre del autor de este artículo): “[...] Our interpretation provides an integrated explanation of the relationship between the Institutes’ original control purposes and the nature of the scientific knowledge presented in their currícula [...]” (p. 32). En: *Science, Nature and Control: Interpreting Mechanics’ Institutes. Social Studies of Science*, Vol 7 (1977), pp. 31-74.

⁵ Ver *Goethe y la Ciencia* (1996), editado por J.Naydler. Barcelona, Ediciones Siruela, p. 127 y el trabajo del autor de este artículo: *Goethe: un visionario científico del siglo XIX*. Barcelona, Universidad Pompeu Fabra (documento de trabajo), (Quintanilla, M., 2005).

⁶ Sugiero revisar el texto de Wittgenstein, L. (1953), *Philosophical Investigations*, ed. de G.E.M. Anscombe y R. Rhess, Oxford, Blackwell.

⁷ Pierre Bourdieu (2003): *El Oficio del Científico*, Barcelona, Anagrama.

⁸ El subrayado es del propio Bourdieu. Ibidem, p. 34.

⁹ He planteado estas ideas en otros documentos y artículos tales como el que fue presentado en el curso “Los públicos de la ciencia”, impartido por el doctor Agustí Nieto en el Centro de Historia de la Ciencia de la Universidad Autónoma de Barcelona, en junio de 2005 con el título: *John Dalton y las controversias acerca del atomismo químico en el siglo XIX*.

¹⁰ Extracto de la conferencia del autor de este artículo *¿Porqué no existe una cooperación efectiva entre científicos y educadores en ciencia en la mayoría de los países?*, dictada en el Museo de La Nación de Lima y patrocinada por la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYTEC) del Perú y UNESCO-OREALC de Santiago de Chile (noviembre de 2004).

¹¹ Me refiero a que la Didáctica de las Ciencias tiene más de 25 años de desarrollo, con una creciente comunidad internacional de investigadores, Revistas especializadas tales como *Science Education*, *International Journal of Science Education*, *European Journal Science Teaching*, *Revista Enseñanza de las Ciencias* y Congresos sistemáticos de expertos en el ámbito europeo y latinoamericano en las diferentes áreas del conocimiento científico.

¹² En Quintanilla, M: “Hablar y construir la didáctica hoy: del modelo ingenuo transmisor al modelo crítico productor de conocimiento”, *Revista REXE. UCSC*, Vol.2, nº 4, pp. 69-82, 2003.

¹³ Uno de estos modelos es el llamado de las “Tres – P”. Al respecto ver Adúriz-Bravo, A. & Izquierdo, M. (2003).

¹⁴ Este autor señala doce subsistemas de valores en el análisis axiológico de la práctica científica y que él denomina: básicos, epistémicos, tecnológicos, económicos, militares, políticos, jurídicos, sociales, ecológicos, religiosos, estéticos y morales. En Etcheverría, J. (2002): *Ciencia y valores*. Barcelona, Destino.

¹⁵ Ver el ensayo *John Dalton y las controversias entorno al atomismo químico en el siglo XIX*. (Quintanilla, M., 2005). Universidad Autónoma de Barcelona. Centro de Historia de la Ciencia (en prensa).

¹⁶ Desarrollado en: “Characteristics and methodological discussion about a theoretical model that introduces the history of science at an early stage of the experimental science teachers’ professional formation”. (Quintanilla, M., Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A., 2005, *Science & Education*, en prensa).

¹⁷ Esta clasificación pudiera resultar reduccionista o restrictiva. Mi idea básica simplemente es dejarlos en evidencia.

¹⁸ Extracto de la conferencia: *Historia de la ciencia y formación docente: una necesidad irreductible*, (Quintanilla, M.) pronunciada en el II Congreso Nacional de Profesores de Ciencias Experimentales, Universidad Pedagógica Nacional de Bogotá, Colombia, mayo de 2005.

¹⁹ Pierre Bourdieu (2003) cuestionará seriamente el concepto de “comunidad científica” según la tradición positivista. En mi opinión esta crítica también es pertinente para el neopositivismo o el antipositivismo.

BIBLIOGRAFÍA

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*, Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional/Conciencias, pp. 127-139.

ALVAREZ LIRES, M. y otros (2005): “Educar en los Derechos Humanos a través de la historia de la ciencia: una experiencia de innovación en la enseñanza

secundaria”, en *Actas del Congreso Sin ciencia no hay cultura*, A Coruña, Galicia, España, Museos de Ciencias (en prensa).

BARONA (1994): *Ciencia e Historia*. Valencia, Editorial SEC, Universidad de Valencia.

BERNSTEIN, B. (1988): “Acerca de la clasificación y del marco del conocimiento educativo”, en *Clases, códigos y control. Hacia una teoría de las transmisiones educativas*, Madrid, Akal, pp. 81-107.

BOURDIEU, P. (2003): *El Oficio del Científico*. Barcelona, Anagrama.

CHALMERS (1993): *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* Madrid, Siglo XXI Editores.

COPELLO, M. I. (1995): *La interacción maestro-alumnado en el aula: dilemas sobre acciones favorecedoras del acercamiento entre los significados en relación a contenidos de ciencias naturales*. Tesis de Maestría. Barcelona, Universidad Autónoma de Barcelona.

COPELLO, M. I. (2002): “Didáctica: un compromiso con el conocimiento biológico escolar significativo y relevante para la vida”, en *Revista Pensamiento Educativo*, Ediciones PUC, vol 30, pp. 271-294.

ETCHEVERRÍA, J. (2002): *Ciencia y valores*. Barcelona, Ed. Destino.

FOUREZ, G. (1998): *La construcción del conocimiento científico*. Madrid, Narcea.

GIERE, R., (1988): *Explaining science. A cognitive approach*. Chicago, University of Chicago Press (Trad. cast. (1992): *La explicación de la ciencia: un acercamiento cognoscitivo*. México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología).

GIERE, R. (1992): “What the cognitive study of science is not?”, en GIERE, R. (ed.): *Cognitive Models of Science*, pp. 481-484.

GIERE, R. (1994): “The cognitive structure of scientific theories”, en *Philosophy of Science*, 61, pp. 276-296.

IZQUIERDO, M. (1994): “Algunes reflexions sobre el llenguatge simbòlic químic."El somni de Lavoisier"”, en *XII Jornadas de H^a y Filosofía de la Ciencia*, Vigo, Universidade de Vigo.

IZQUIERDO, M. (2000): “Fundamentos epistemológicos”, en PERALES, F. J. y CAÑAL, P. (eds): *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y práctica de la Enseñanza de las Ciencias*, Madrid, Alcoy, Marfil, pp. 35-64.

IZQUIERDO, M. y otros (2006): “Relación entre la historia y la filosofía de la ciencia”, en *Alambique*, nº 48, pp. 78-91.

KLIMOVSKY, G. (2001): *Las desventuras del conocimiento científico. Una introducción a la epistemología*. Buenos Aires, A-Z editores.

- POZO, I. y GÓMEZ, M. (2003): *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid, Morata.
- QUINTANILLA, M. (1999): “El dilema epistemológico y didáctico del curriculum de la enseñanza de las ciencias: ¿Cómo abordarlo en un enfoque CTS?”, en *Rev. Pensamiento Educativo*, nº 25, pp. 299-334.
- QUINTANILLA, M. (2004): “Algunas reflexiones que justifican la necesidad de comprender y direccionar la didáctica de las ciencias experimentales en la formación profesional del científico”, en *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, vol.16, pp. 9-30.
- QUINTANILLA, M. (2005): “Historia de la ciencia y formación docente: una necesidad irreducible”, en *Revista TED de la Universidad Pedagógica Nacional de Bogotá* (número extra), pp. 34-43.
- QUINTANILLA, M. (2006a): “Identificación, caracterización y evaluación de competencias científicas desde una imagen naturalizada de la ciencia”, en *Enseñar ciencias en el nuevo milenio: retos y propuestas*, Santiago de Chile, Ediciones PUC, (en prensa).
- QUINTANILLA, M. (2006b): “Historia de la ciencia, ciudadanía y valores: claves de una orientación realista pragmática de la enseñanza de las ciencias” en *Revista Educación y Pedagogía*, Colombia, U. de Antioquía, (en prensa).
- QUINTANILLA, M. (2006c): “Educación científica de calidad hoy, ciudadanía para el mañana”, en *Actas del IV Congreso Internacional de Didáctica de las Ciencias*, La Habana, Cuba.
- QUINTANILLA, M. y otros (2005): “Characteristics and methodological discussion about a theoretical model that introduces the history of science at an early stage of the experimental science teachers’ professional formation”, en *Proceedings of IHPST international conference of history and philosophy of science and science teaching*, England, University of Leeds.
- QUINTANILLA, M., y otros (2005): “La educación de los derechos humanos desde la perspectiva de ciencia, ciudadanía y valores”, en *Actas del VII Congreso Internacional de Didáctica de las Ciencias*, Granada.
- QUINTANILLA, M. y otros (2006): “Innovación científica y tecnológica en un mundo global: ciudadanía y valores para una nueva cultura docente”, en *Actas del 33 Congreso Mundial de Escuelas de Trabajo Social*, Santiago de Chile.
- SOLAR, H. y QUINTANILLA, M. (2005): “Algunas reflexiones para considerar la historia de la matemática en la formación inicial y continua del profesorado”, en *Actas de las II Jornades sobre la Història de Ciència i l’Ensenyament*, Barcelona, Societat Catalana d’Història de la Ciència.
- SOLSONA, N. y QUINTANILLA, M. (2005): “Reflexions i propostes per al debat educatiu – didàctic entorn a la història de la ciència”, en *Actas de las II Jornades*

sobre la Història de Ciència i l'Ensenyament, Barcelona, Societat Catalana d'Història de la Ciència.

TOULMIN, S. (1977): *La comprensión humana*. Madrid, Alianza Editorial.