

## LA CIENCIA EN LA ESCUELA: UN SABER FASCINANTE PARA APRENDER A ‘LEER EL MUNDO’

*Science at school: a fascinating knowledge towards learning how to ‘read the world’*

MARIO QUINTANILLA GATICA\*

### Resumen

La idea principal que motiva estas reflexiones es que el profesor de ciencias naturales disponga de nuevos elementos teóricos y prácticos para fundamentar una posición epistemológica frente al conocimiento erudito que se comunica en la escuela y que se transmite de manera ‘hablada o escrita’ como parte de la actividad científica escolar. Para ello se analizan, mediante una narración experimental, los componentes del discurso científico y de las explicaciones que elabora un grupo de estudiantes de un colegio secundario de Santiago. Finalmente, se proponen algunas acciones y estrategias debidamente fundamentadas desde la teoría didáctica, conforme a potenciar las funciones del lenguaje en la clase de ciencias desde una fundamentación epistemológica naturalizada.

**Palabras clave:** lenguaje, ciencia escolar, discurso científico

### Abstract

*The main idea underlying these reflections is that the Natural Sciences teacher should have new theoretical and practical elements in which to base an epistemological stance regarding the knowledge imparted in school, which is transmitted either ‘verbally or in writing’ as part of the educational scientific activity. Hence, the components of the scientific discourse and the explanations prepared by a group of Secondary School students in Santiago, are analyzed by means of an experimental narrative. Lastly, some actions and strategies are proposed –duly well– founded on didactic theory– intended to empower the role of language in the Science class, from a naturalized epistemological basis.*

**Key words:** language, school science, scientific discourse

---

\* Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas de la Universidad Autónoma de Barcelona. Académico de la Facultad de Educación, Pontificia Universidad Católica de Chile, [mquintag@uc.cl](mailto:mquintag@uc.cl)

## Introducción

El continuo impacto del conocimiento científico y tecnológico en nuestras vidas ha sido de tal magnitud en las postrimerías del siglo XX y en los albores del siglo XXI que, de alguna manera, nos ha encontrado sumidos en una vorágine de controversias y conflictos de todo orden que han contribuido a una ‘lectura del asombro’ diríamos de manera acrítica. Esto, porque la mayor parte de los beneficios de la ciencia y de la tecnología están desigualmente distribuidos en la población mundial, lo que se traduce en inequidad e injusticia entre culturas y países y dentro de ellos se conoce la existencia y permanencia de grupos excluidos del conocimiento científico así como del uso de sus beneficios, exclusión por pertenencia a etnias, género, grupos sociales o cuya distribución geográfica alejada de los grandes centros de desarrollo del conocimiento contribuye a la escisión permanente entre eruditos y profanos.

Me parece que la ciencia y la tecnología deben responder no sólo a las necesidades de la sociedad para posibilitar mejorar sistemáticamente las condiciones de vida de la mayoría de la población que vive en situaciones de pobreza extrema, sino que, además, los avances científico-tecnológicos deben ser bien utilizados por los ciudadanos y ciudadanas y para que esto sea posible deben conocerlos, comprenderlos y utilizarlos apropiadamente dentro de un contexto determinado. En este sentido la educación científica ocupa un lugar clave para mejorar la calidad de vida y la participación ciudadana responsable e informada en las decisiones de la comunidad en su conjunto (Quintanilla, 2006; Quintanilla *et al.*, 2006).

La principal argumentación teórica que orienta este artículo tiene que ver con la relevancia y complejidad de los procesos de comunicación y del uso del lenguaje, como principal *instrumento-estrategia* para la enseñanza y modelización de la *ciencia escolar* o de la ciencia ‘en la escuela’. De este modo, su propósito es contribuir a que el profesor de ciencias naturales disponga de nuevos elementos teóricos y prácticos para fundamentar una posición epistemológica frente al conocimiento que se elabora en el aula y que se transmite de manera ‘hablada o escrita’ como parte de la actividad científica escolar. Para ello se analizan, mediante una narración experimental de estudiantes secundarios, los componentes del discurso científico y de las explicaciones que construye un grupo de estudiantes de un colegio secundario de Santiago que desarrolla actividades experimentales de manera sistemática. Finalmente, se proponen algunas acciones y estrategias debidamente fundamentadas desde la teoría didáctica, conforme a potenciar las funciones del lenguaje en la clase de ciencias desde una orientación epistemológica realista pragmática (Quintanilla, 2006).

## El lenguaje de la ciencia y la construcción de conocimiento

En la actualidad, muchas escuelas e investigadores situados en las disciplinas de carácter metacientífico –como la epistemología, la historia de la ciencia y la didáctica de las ciencias naturales– conciben la ciencia como una *actividad humana* de producción, evaluación, aplicación y difusión de saberes eruditos, inmersa en un contexto histórico, social y cultural que le 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, cuyas acciones están determinadas por múltiples factores y procesos. De ahí la enorme importancia de incluir la reflexión *acerca de y sobre el proceso de construcción histórica* del conocimiento científico en los nuevos proyectos curriculares de enseñanza de las ciencias naturales, destacando el hecho de que la ciencia se ha de enseñar a hablar y a escribir con un sentido humano, que es el sustento de la argumentación epistemológica naturalizada (Quintanilla, 2006a).

Según Izquierdo (2001), las ciencias naturales pueden caracterizarse a lo menos por cuatro dimensiones principales: su *objetivo esencial* (¿Por qué queremos conocer, describir e interpretar el mundo?); su *metodología* (¿Cómo se relacionan los diferentes experimentos y las teorías entre sí?); su *racionalidad* (¿Cómo y por qué cambian las teorías a lo largo de la historia humana?) y la *naturaleza de las representaciones científicas* (¿Nos dicen algo las ciencias sobre el mundo real?). A partir de la consolidación de estas dimensiones en los distintos enfoques curriculares *acerca de y sobre la enseñanza de las ciencias*, lo más esencial sería, entonces, enseñar a pensar a los estudiantes sobre las situaciones diversas con las cuales se interacciona sistemáticamente con el mundo físico o material. Si, por ejemplo, se considera que lo más propio de las ciencias naturales en un libro de texto es el pensamiento teórico, *la concepción semántica de las teorías* permite una gran flexibilidad, pues estaríamos hablando de lograr un mismo objetivo, esto es, pensar a través de las teorías aunque en diferentes contextos, el científico y el escolar (Izquierdo, 2001).

En este escenario formativo, los esfuerzos por abordar los problemas específicos de ‘la comunicación discursiva de la ciencia en la escuela’ por parte de los profesores, con unas nuevas finalidades educativas han sido significativos y crecientes en las últimas décadas. Estos esfuerzos han estado motivados predominantemente por preocupaciones prácticas que circulan alrededor del uso de los medios y las nuevas tecnologías en el trabajo escolar, así como por la identificación y caracterización de las representaciones metateóricas de los profesores de ciencia y su incidencia en la promoción y consolidación de una nueva cultura docente del lenguaje de la ciencia en el aula, como lo han venido señalando desde hace ya algún tiempo investigaciones específicas en el tema (Candela, 1999; Lemke, 1997; Mortimer, 2000; Ogborn *et al.*, 1998).

Partimos del hecho de que el aprendizaje de las ciencias, y con ello la especificidad de su lenguaje, tiene que ver con la compleja evolución y diferenciación de las ideas en la propia historia de la ciencia, así como de los diferentes puntos de vista de los estudiantes frente al conocimiento que se transmite en la actividad científico-comunicativa del aula, pero además en la propia historia del sujeto que aprende y cambia conceptualmente (Labarrere & Quintanilla, 2006; Nussbaum, 1989). Estos desarrollos, de por sí permanentes y situados, sólo son posibles a través de la interacción social que se ha de intencionar teórica y experiencialmente bajo cierto estatuto epistemológico de la ciencia, su método, instrumentos y valores (Izquierdo, 2001; Echeverría, 1995). Es el lenguaje, hablado o escrito, el medio por el cual se expresa el pensamiento y es la comunicación con los demás la que promueve modificaciones paulatinas en las ideas que se expresan y evolucionan desde modelos simples y poco elaborados a modelos o familias de modelos científicos más complejos y coherentes desde las propias teorías de la ciencia tal y como lo plantean diversas y sólidas investigaciones de los científicos cognoscitivistas (Izquierdo *et al.*, 2006; Giere, 1995).

Lo anterior implica por parte del profesorado una valoración seria y rigurosa de la 'actividad discursiva escolar de la ciencia' y de su naturaleza que se transmite de manera 'hablada o escrita' sobre la base de determinadas concepciones teóricas que implican, entre otras cosas, categorías conceptuales y estatuto metacientífico de la didáctica de las ciencias naturales (Quintanilla, 2006a). Se trata de asumir que el lenguaje de la ciencia comunicado a expertos y profanos intencione determinadas maneras de entender el mundo en una época determinada, de una forma tal que enseñe al estudiante a desarrollar habilidades cognitivo-lingüísticas para comprender los conocimientos que aprende y estimular la creatividad en el proceso de modelizar la ciencia, promoviendo la evolución de sus ideas en un proceso que no comienza ni termina con la cultura de los símbolos y las fórmulas de las teorías científicas.

Sin embargo, *hacer decir* a las prácticas pedagógicas escolares de la ciencia es hacer una apuesta de una orientación teórica en el sentido de las relaciones que en ellas se tejen entre el discurso del profesor y las ideas que expresan los estudiantes. Implica comprender esas mismas prácticas del lenguaje de la ciencia en términos de procesos educativos muy complejos, atravesados por el estatuto de las teorías científicas, de las identidades culturales, por las historias de los sujetos que enseñan y aprenden, por las matrices culturales y político-institucionales, entre otros componentes. En cualquier caso, no se está hablando de procesos ingenuos de la naturaleza de la ciencia y su enseñanza, dado que partimos de la base de que en ellos se construye la vida de las personas y de los grupos sociales con alguna intencionalidad epistemológica determinada pero, como lo plantea Bordieu (2003), también ideológica y social. Para Bordieu, la ciencia se refiere a un abanico muy definido de problemas, cuyo *paradigma o matriz disciplinaria*<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> El destacado es del propio Bordieu. Ibidem, pp. 34.

es aceptado por una fracción importante de científicos que tiende a imponerse a todos los demás de manera continua y disciplinada, no sólo para validar el conocimiento construido, sino que 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 aprender<sup>2</sup>.

Podemos decir entonces, sin lugar a dudas, que el lenguaje de la ciencia se ha caracterizado bajo un dominio teórico epistemológico como un instrumento-estrategia para la construcción del conocimiento escolar que requiere de un producto trabajado social y culturalmente por el profesor o didacta. Así, surgen algunas interrogantes como las siguientes: ¿Cuáles son los *hechos del mundo real* más apropiados para que el alumno elabore un *modelo teórico* a través de las diferentes actividades de aprendizaje, instrumentos de evaluación, imágenes y símbolos formales que presenta la 'ciencia escrita' por ejemplo en un libro de texto? ¿Cómo dar un inicio adecuado al pensamiento teórico de los alumnos y saber cuáles son las proposiciones más apropiadas para relacionar los fenómenos del mundo con dichos modelos teóricos en la clase de ciencia haciéndolos evolucionar apropiadamente en la mente de los niños y jóvenes? ¿Cuáles son las estrategias de evaluación más adecuadas y coherentes con el modelo de enseñanza de las ciencias escogido, para posibilitar la construcción de esos conceptos haciendo que 'la actividad discursiva' de la ciencia escolar sea un instrumento mediador entre la ciencia de los científicos y la ciencia que enseñamos a todos(as) los(as) jóvenes de Chile, atendiendo a la heterogeneidad y diversidad social y cultural de nuestras aulas?

### Naturaleza de la ciencia, lenguaje y aprendizaje

Las concepciones 'dogmáticas' *acerca de y sobre* las ciencias naturales y la tecnología han girado persistentemente en las órbitas propias de científicos y pedagogos, dejando fuera la noción de educación científica basada en la innovación que se deriva del cuerpo de investigación de la actividad metacientífica de la epistemología, la didáctica de las ciencias naturales y la historia de la ciencia. Al respecto, quisiera resignificar el nombre de ciencias naturales como ciencias naturales del hombre, apropiando la visión realista pragmática que hemos venido sosteniendo en otros trabajos y cuerpos de investigación (Izquierdo *et al.*, 2006; Quintanilla *et al.*, 2005; Quintanilla, 2006).

<sup>2</sup> 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, España, en junio de 2005 con el título: *John Dalton y las controversias acerca del atomismo químico en el siglo XIX*.

En consecuencia, una *buena explicación científica escolar*, potenciada a través de un ‘discurso docente’ teóricamente fundamentado desde las metaciencias, es aquella que responde a una pregunta intencionada en un contexto científico educativo y cultural determinado, que está escrita correctamente a la luz de unos criterios educativos establecidos al interior de la actividad escolar, que utiliza un modelo teórico de ciencia y de enseñanza de la ciencia lo más robusto posible y que proporciona autonomía al alumno para aprender a ‘leer el mundo’. Por ejemplo, un buen libro de texto de ciencia es aquel que favorece intencionadamente: La pregunta y reflexión del estudiante, la atención a la diversidad y heterogeneidad de los sujetos que aprenden y la respuesta argumentada bien escrita basada en las orientaciones del modelo cognitivo de ciencia desde una visión naturalizada y realista pragmática (Izquierdo, 2001; Quintanilla, 2005).

No obstante el currículo chileno (al menos el oficial) privilegia la lengua y las matemáticas por sobre el aprendizaje de las ciencias naturales y la tecnología, fuente de gran motivación en los primeros niveles educativos y, por otro, la incorporación de docentes en la enseñanza de estas disciplinas carece de un movimiento crítico que permita la implementación de un área de dominio disciplinar, que fortalezca el desarrollo científico y tecnológico sustentable, e incorpore, entre otros, la alfabetización digital en las prácticas experimentales, todos elementos que dan pie para acortar la brecha científica y tecnológica, desde y en la escuela, haciendo que los niños y jóvenes se encanten con este saber fascinante en constante transformación (Quintanilla *et al.*, 2006). Al respecto, hay desarrollos en los conocimientos científicos y tecnológicos muy grandes que se potencian entre sí para avanzar cada vez más rápido, pero que han dejado fuera de esta vorágine al sistema educacional que ha permanecido como en una burbuja estática o varada en sus ancestrales convicciones epistemológicas de carácter dogmático y determinista de la educación científica.

Renovar la enseñanza de las ciencias desde estas orientaciones implica promover el desarrollo de las habilidades cognitivolingüísticas de los alumnos en el uso del lenguaje de la ciencia, lo que se traduce en permitirles una mayor práctica para utilizarlo conscientemente como instrumento-estrategia de aprendizaje de las teorías científicas. Los alumnos deben recibir oportunidades para transformar la sala de clases y las prácticas experimentales en un foro de discusión permanente, para expresar sus ideas aunque sean incoherentes en un primer momento, para hablar más largamente –en monólogo o en diálogo– y para escribir más acerca de y sobre la ciencia que escuchan o leen (Lemke, 1997).

Por otra parte, nadie pondrá en duda la relevancia de la actividad manipulativa y de la experimentación en el proceso de apropiación de la cultura y lenguaje científico, puesto que las teorías sólo tienen sentido porque explican hechos del mundo real y toda teoría científica incluye un campo experiencial de referencia para el sujeto que enseña o aprende. Pero además, las experiencias personales son uno de los motores más

importantes de la modelización de las ideas científicas, aunque sean alternativas y que requieren comunicarse a través de lenguajes diversos. Esto exige que los términos usados por el docente para formular enunciados científicos tengan significados claramente especificados y sean entendidos en el mismo sentido por aquellos que los usan, diríamos ‘normalmente’ (los científicos). Sin embargo, este lenguaje científico, al menos en aquellas áreas no demasiado especializadas, comparte ciertos significados que hacen que no sea posible trazar un límite preciso entre el lenguaje de ambos contextos: *el científico y el cotidiano*. Frecuentemente, la ciencia toma palabras del lenguaje común dotándolas de nuevos significados más o menos próximos al original. Todo ello genera múltiples problemas. En unos casos, la adecuada precisión en el significado de los términos que se consideran estrictamente científicos; en otros la distinción entre los significados en los contextos ordinarios y científicos. Al respecto nos dirá J. Dewey:

*“...Si por ejemplo, se preguntara a un profano con considerable experiencia práctica qué quiere decir o qué entiende él por metal, probablemente respondería en términos de cualidades útiles en el reconocimiento de cualquier metal dado, así como en su utilización práctica. Probablemente incluiría en la definición la blandura, la dureza, la suavidad o aspereza, el brillo y el peso en relación con el tamaño, precisamente porque esos rasgos nos capacitan para identificar cosas específicas cuando las vemos y las tocamos; las propiedades útiles, como la capacidad para soportar golpes sin romperse, de ablandarse con el calor y endurecerse con el frío... Y con total independencia del peso de términos tales como “maleable” o “fundible”..., una concepción científica... no se funda ya en las cualidades directamente percibidas ni en las propiedades de utilidad directa, sino en el modo en que ciertas cosas se relacionan causalmente con otras...” (Dewey, 1989, p. 143).*

Un dato interesante en este sentido, desde la investigación en didáctica de las ciencias naturales, es que las concepciones alternativas o ideas previas que los estudiantes elaboran sobre una gran variedad de temas científicos, como por ejemplo *calor, fuerza, temperatura, energía, cambio químico, sustancia, elemento, mezcla, compuesto, nutrición, digestión, combustión*, etc., se han investigado con las concepciones propias que en algún momento de la historia sustentaron las diferentes comunidades científicas en relación a los mismos conceptos y su naturaleza cambiante (Camacho, 2006; Izquierdo & Rivera, 1997; Nussbaum, 1989).

### **Las representaciones y el ‘pensamiento científico’ de los estudiantes**

Pero ¿qué ocurre con los estudiantes cuando intentan explicar o interpretar un fenómeno experimental y comunicarlo en forma verbal o por escrito? El axioma simbólico, ¿responde siempre a la ‘visión científica’ del modelo teórico? La respuesta, aunque parezca obvia y trivial, no lo es. Un alumno que ‘aprende ciencias’ narra los experimentos sobre

la base de modelos teóricos propios, la mayoría de las veces alternativos e intuitivos, por lo que, aunque lo situemos en una situación similar a la de un científico, su respuesta ‘común’ no está abierta totalmente al mundo de las ciencias, o quizá sí, esto no lo podemos saber con precisión. Por ejemplo, puede haber un profesor que diga: “... *para mí lo más importante es que el estudiante haga cosas y diga cosas relacionadas con la ciencia, si está de acuerdo o no con lo que digan los científicos eso es algo secundario...*”. En lo particular, no estoy de acuerdo con esto. Cada profesor tiene una representación acerca de y sobre la naturaleza de la ciencia, su objeto, métodos e instrumentos en función de sus vivencias e historia personal, pero también en función de la modelización derivada de su propia formación profesional inicial en la que también recibió ‘una dosificación de transposición didáctica’ en un momento específico y particular de su historia, con una definición epistemológica de ciencia hoy francamente superada<sup>3</sup>.

Los estudiantes han de aprender una ciencia que tenga sentido para sí mismos y para comprender el complejo y cambiante mundo de las relaciones humanas en las que se desenvuelven a diario como ciudadanos activos, actores y autores protagónicos y responsables de las transformaciones sociales, además de aprender los principales conceptos del currículo específico normativamente definido por la escuela. Es esta *ciencia escolar* la que después tendremos que caracterizar y justificar como actividad educativa seria y responsable. Para ello, hacemos una reflexión de *qué es* la ciencia pretendiendo que la respuesta nos ayude a entender y configurar un *modelo de ciencia en el aula*, puesto que si asumimos que las ideas científicas de los alumnos ‘evolucionan’, podríamos afirmar entonces que la narración de sus ideas sería la evidencia más cercana de que las formas de representación del lenguaje científico, ya sea axiomatizado (estructurado formalmente) o no que asumen nuestros estudiantes, cambian de la misma manera, considerando que dichos ‘cambios’ están condicionados no solamente por el repertorio cognitivo de los estudiantes, sino que por el entorno sociocultural e histórico en el que ‘narraron, observaron y reflexionaron’ el fenómeno. Esto es importantísimo, puesto que la mayoría de las veces los profesores de ciencia insistimos en que los alumnos fijen su atención en determinados aspectos de los fenómenos experimentales que a nosotros nos parecen relevantes y los estudiantes fijan su atención en otras cosas, en gran medida impulsados por las representaciones y explicaciones habituales que tienen de los fenómenos científicos y que se refuerzan desde su propia experiencia personal y social (Quintanilla & Izquierdo, 1997; Quintanilla, 2002).

En definitiva, tanto la ciencia que construyen los científicos como el conocimiento cotidiano y la ciencia en la escuela (ciencia escolar) intentan dar explicaciones sobre los

---

<sup>3</sup> Ver artículo del autor: El dilema epistemológico y didáctico en el currículum de la enseñanza de las ciencias. ¿Cómo aproximarlos en un enfoque CTS? Revista *Pensamiento Educativo*. Vol. 25, 299-334 (1999).



fenómenos, pero la primera diferencia que salta a la vista es que la ciencia en la escuela es el resultado de la transposición didáctica que debiera tener una orientación intencionada teóricamente (Quintanilla, 2003). En este sentido, uno de los principales problemas que debe resolver la ciencia escolar es que los alumnos comprendan lo que pretenden las ciencias y cómo funcionan sus reglas de formalización. Desafortunadamente, ni lo uno ni lo otro es explícito a la hora de enseñar y aprender ciencias de verdad porque el profesor habitualmente no hace la reflexión necesaria para comprender qué es y cómo se genera el conocimiento científico, cuál es su estructura, su lógica, su método, etc., de manera que la primera persona que debiera comprender y potenciar estos aspectos para poder enseñarlos, de entrada tiene impedimentos teóricos de formación profesional y de su propio saber erudito para lograrlos.

El centro del análisis que estoy presentando se fundamenta en el hecho de que para promover y estimular el desarrollo del pensamiento científico de los alumnos, y con ello su lenguaje y modelos teóricos, es necesario tener en cuenta el sentido que cobra su implicación en actividades de enfrentamiento a la resolución de problemas, por ejemplo, los que se evidencian en la experimentación escolar, además de poner de manifiesto las transformaciones esenciales que se producen en ellos como sujetos independientes y en los grupos como totalidades cuyas diferencias individuales aportan a la confluencia de objetivos comunes en un proceso centrado en la tarea y en las ‘condiciones de aprendizaje’ de las prácticas experimentales (Labarrere & Quintanilla, 2002)

En este sentido, intentamos una aproximación didáctica a las repercusiones deseables que, para los estudiantes, deben tener los procesos de resolución de problemas científicos escolares, concebidos con fines de alcanzar transformaciones profundas y complejas, no sólo en sus estructuras de conocimientos específicos y de los recursos formales, axiomáticos y/o heurísticos, sino sobre todo en aquellas que definen el sentido personal e interpretativo de esa actividad científica escolar y las posibilidades de operar sobre su propio desarrollo y creatividad a través de ella, en un ambiente de comprensión teórica de las mismas actividades y de los diferentes criterios u obstáculos para lograrlas (Labarrere & Quintanilla, 2002).

Lo anterior no resulta fácil en la cultura científica escolar, debido a que diferentes visiones históricas han concedido a la palabra la función de simple etiqueta o estructura verbal del concepto, independiente de su denotación y connotación. Los conductistas consideran el lenguaje como uno más de los *hábitos motores* y, de este modo, la relación entre palabra y significado adquiere las características de una simple asociación establecida a partir de la percepción simultánea, una vez y otra, de un objeto o idea y un sonido determinado. Desde este punto de vista, el desarrollo y evolución de los conceptos científicos se concibe como el cambio progresivo jerárquico y lineal en la naturaleza lógica e instrumental de dichas asociaciones.

Sin embargo, Vygotsky (1995) rechaza esta posición insistiendo en que la evolución semántica no es una simple modificación de contenido específico en el significado, sino en su estructura y naturaleza psicológica más profunda, señalando que la relación entre pensamiento y palabra no es un hecho sino un proceso, un continuo ir y venir del pensamiento a la palabra y de la palabra al pensamiento, es decir, el pensamiento científico no se expresaría simplemente en palabras sino que existiría necesariamente a través de ellas.

### **Aprender a argumentar en la clase de ciencias**

Por lo tanto, en la ‘narración o relatos de las ideas científicas’ de los estudiantes, la delimitación entre conceptos cotidianos o espontáneos y conceptos científicos es notablemente difícil y la mayor parte de ellos coexisten de manera persistente en los alumnos cuando éstos escriben lo que dicen que piensan aunque lo escrito no represente exactamente lo que están pensando, es decir, sus ‘modelos teóricos dinámicos’. Esta coexistencia puede ser a veces positiva y, en algunos casos, quizá perniciosa para el aprendizaje de las ciencias naturales ya que la enseñanza de teorías, fenómenos y leyes es particularmente difícil de modelizar a partir de la observación científica. Del mismo modo, la construcción o bien la reconstrucción escrita de un concepto no puede estudiarse como un proceso lineal de generalización o concreción jerárquica en una ‘narración científica escolar’. El estudiante deberá aprender a ‘comprender el concepto’ para argumentar ‘racional y razonablemente’ como lo concibe, de tal forma que al comunicarlo sean coherentes las ideas y las palabras narradas con el modelo teórico de referencia.

En este mismo sentido, haciendo alusión a uno de los genios de la historia de la ciencia, Descartes decía que *el lenguaje es el único signo de que hay un pensamiento latente en el cuerpo*. Esta frase nos sugiere una estrecha relación entre *escribir y pensar*. La opción actual por una enseñanza de las ciencias naturales que no sea sólo instrucción o reproducción determinista del conocimiento, destaca la importancia de relacionar permanentemente *teoría y práctica* científica tal y como lo plantea Izquierdo (1995).

Los modelos actuales de conocimiento demuestran que sólo es posible establecer una relación diríamos ‘consistente’ cuando el conocimiento teórico formal y estructurado se construye y reconstruye a propósito y con relación a los fenómenos, sobre los cuales se puede razonar teóricamente. Para esto es necesario preguntarse intencionalmente sobre ellos y elaborar respuestas satisfactorias para que éstas den lugar a una estructura conceptual coherente y aceptada por la comunidad científica. De tal forma que pueda ser significativa para el estudiante y un instrumento para continuar formulando y respondiendo preguntas, es necesario que los estudiantes aprendan a identificar y caracterizar sus habilidades cognitivo lingüísticas y los planos de desarrollo en que

las mismas operan en sus explicaciones científicas para el desarrollo de determinadas competencias (Quintanilla, 2006)

En consecuencia, nos damos cuenta de la complejidad con las que se puede enfrentar sistemáticamente un alumno cuando intenta argumentar y comunicar sus ideas a otros sujetos. El estudiante puede no conocer la finalidad de lo que aprende y es entonces cuando la ciencia en la escuela pierde significado, sentido y valor. Por todo esto, se hace necesaria una *teoría de los contenidos científicos escolares*, que surja de un modelo general de ciencia. Así entonces, una buena argumentación científico-escolar tendrá como base la relación coherente entre el *modelo de acción*, el *modelo de instrumento* y *modelo teórico*, lo cual ofrece como resultado que el alumno actúe y razone de acuerdo con dicho modelo cuando, por ejemplo, está *argumentando lo que piensa acerca de lo que observa*.

Sabemos que la mayor parte de las acciones de los alumnos durante las prácticas experimentales no tiene sentido porque no se corresponden con sus modelos explicativos, ya sean estos de carácter teórico o social. Por ejemplo, en las pocas oportunidades que el alumno tiene para ir al laboratorio de ciencias, imagina que una práctica científica es un maravilloso momento en el cual, vestido con un delantal blanco, va a conocer y a entretenerse con las sustancias que conoce a través de los libros de texto, mezclándolas para que reaccionen o cambien de color, como lo hace el ‘científico loco’ que ha conocido en las tiras cómicas o en los programas de divulgación de la televisión infantil.

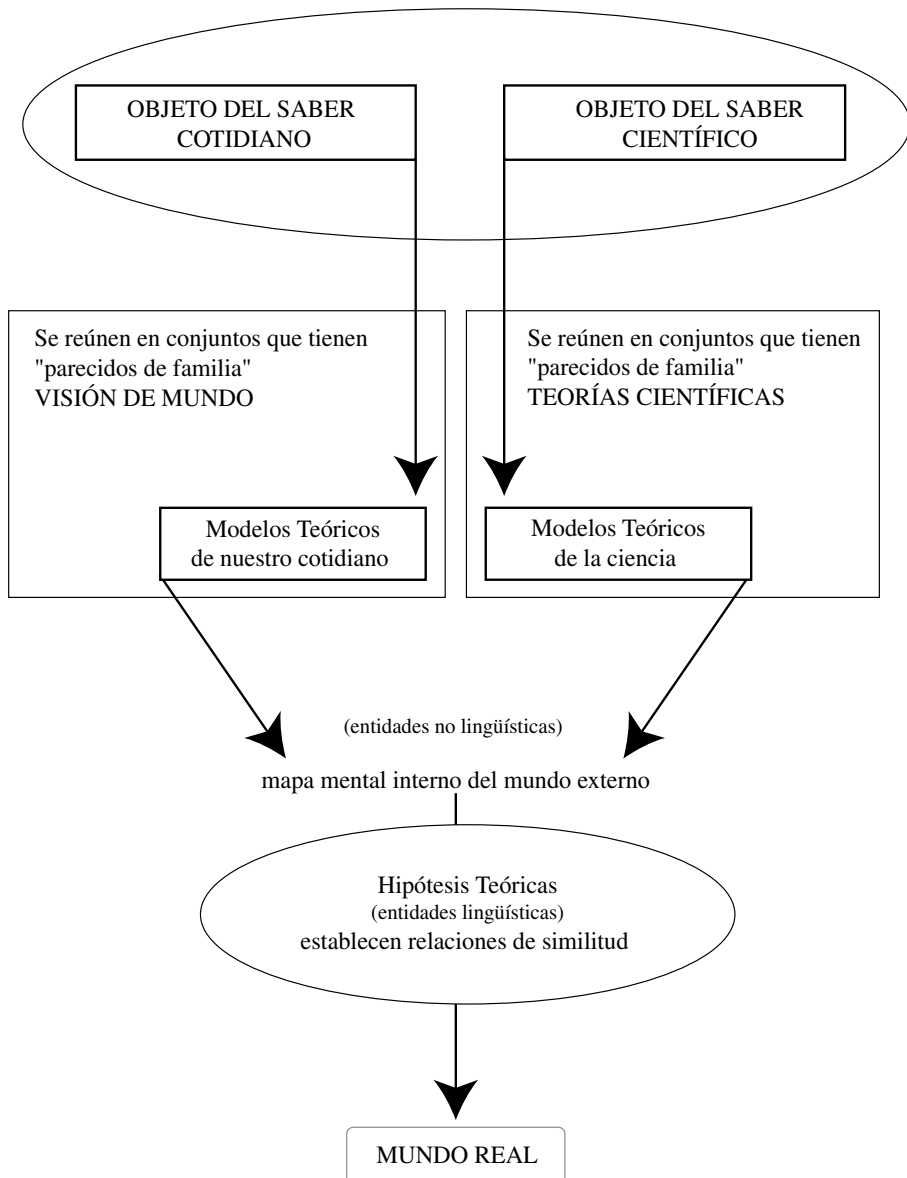
La enorme influencia social y cultural de los medios de comunicación masiva le han permitido crear una ‘imagen ingenua’ sobre el trabajo de los científicos, que no es asimilable ni coherente con las acciones que se esperan de él o ella, durante la experimentación escolar, cuando el docente hace de la misma una ‘actividad científica discursiva’ fundamentada desde las metaciencias.

### **Hablar y explicar la ciencia en la escuela. Su lenguaje y finalidades**

En síntesis, el desarrollo evolutivo no lineal de un concepto científico se asemejaría más bien al abandono e incorporación paulatina de nuevos significados en el discurso de los alumnos y a la *evolución, clase y tipo* de interconexiones que se establecen entre ellos de manera dinámica e intencionada. Esta ‘lógica’ de construcción de conocimiento va determinando nuevos ‘modelos teóricos’ que fortalecen una familia de teorías científicas en desmedro de otras tal y como lo plantea Giere (1992) que considera que los conceptos, teorías, y procedimientos específicos de una ciencia forman parte de una red dinámica entre el conocimiento cotidiano y el saber erudito (ver Fig. 1). De una manera análoga, como lo señala Toulmin (1977), están en *evolución constante*, sufriendo pequeños cambios. Según este investigador, los conceptos, procedimientos y teorías de

**Figura 1**  
RELACIONES ENTRE EL LENGUAJE COTIDIANO Y EL LENGUAJE CIENTÍFICO  
(ERUDITO) SEGÚN LOS ACERCAMIENTOS COGNOSCITIVOS DE LA CIENCIA  
(GIERE, 1992, COPELLO, 1995)

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

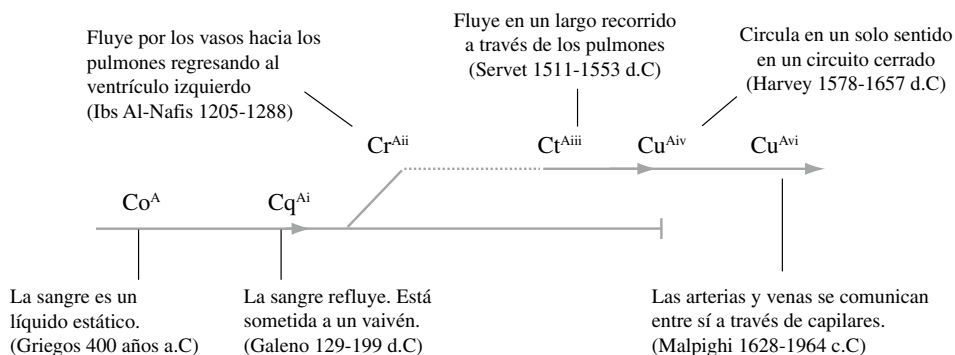


toda ciencia ‘funcionan’ de manera parecida a los individuos de un sistema biológico, es decir, están sometidos, como diría Charles Darwin, a las leyes de selección natural, a una dinámica de constante cambio y renovación. Por ejemplo, el concepto de ‘circulación sanguínea’ que hoy enseñamos en una clase de biología (ver diagrama 1) no es *exactamente el mismo* concepto que se enseñaba y divulgaba a fines del siglo XIII (Uribe & Quintanilla, 2005).

Para Toulmin, el factor determinante de la evolución, que en biología correspondería a la *adaptación a nuevos ambientes*, sería la utilidad práctica del conocimiento científico y sus significados. Así se introduce el concepto de *cambio conceptual* o de *esquemas conceptuales* al que de un modo similar podemos darle una explicación metateórica, ya que la permanente evolución de los conceptos científicos en la historia de la ciencia es parecida al continuo cambio de las ideas que nuestros alumnos tienen sobre la naturaleza de la ciencia cuando aprenden a hablarla y a escribirla. En definitiva, Toulmin reconoce que el cambio progresivo de una disciplina científica implica ajustes y desajustes, tensiones conceptuales e incertidumbres propias del conocimiento específico y de la lógica con la que se construye y modifica en la historia de la ciencia.

**Diagrama 1**  
EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE MOVILIDAD SANGUÍNEA  
ENTRE EL SIGLO XIII Y EL SIGLO XVII, APLICANDO  
EL MODELO METODOLÓGICO-EPISTÉMICO DE TOULMIN  
(Uribe & Quintanilla, 2005).

a) Movilidad de la sangre



Este modelo epistemológico es bastante útil para explicarnos la visión mutable que, *acerca de y sobre el* conocimiento científico y su enseñanza, asume la llamada didáctica crítica (Quintanilla, 2004). Al mismo tiempo, nos facilita la comprensión acerca de los modelos de construcción de conocimiento y los modelos de aprendizaje, según se resume en la Tabla 1.

**Tabla 1**  
 INTERPRETACIÓN DEL MODELO DE TOULMIN DESDE LAS ORIENTACIONES  
 METATEÓRICAS DE LA CIENCIA Y SU ENSEÑANZA  
 (Quintanilla, 2003)

Supuestos teóricos	Ideas acerca del conocimiento científico construido	Ideas acerca del conocimiento científico enseñado
<b>Epistemológicos</b>	Cambio científico evolutivo progresivo. Realismo Pragmático.	Cambio conceptual. Evolución de las ideas alternativas de los estudiantes. Idea de <i>conocimiento científico escolar</i> .
<b>Erudito/ Disciplinarios</b>	Mutable-dinámico. Metáfora de la Teoría de la Evolución de Charles Darwin en relación a la evolución de los conceptos eruditos de la ciencia.	Cambiante-flexible-adaptativo. Interpretativo del mundo real del alumno.
<b>Profesionales</b>	Coconstruido en la interacción disciplina profesor-aprendiz.	Sistemático, continuo y permanente. Construcción colaborativa. Fuerte vinculación Teoría y Práctica (VTP).

En consecuencia, la posibilidad de *enseñar al alumno a comprender cómo se aprende a escribir y a hablar acerca de y sobre la ciencia*, contribuye a la búsqueda de estrategias creativas por parte del profesor de ciencias para desarrollar en sus alumnos el pensamiento reflexivo y el logro de aprendizajes significativos en función de la elaboración de modelos explicativos propios. Requiere por parte del docente un compromiso permanente no sólo con la transferencia de conceptos, sino que con la identificación y caracterización de los modos o estilos con que los estudiantes están percibiendo la realidad, concibiendo el mundo y aprendiendo también a través de él a modelizarlo e interpretarlo discursivamente con estas ‘ideas y palabras’ provenientes de la experiencia personal y de la propia ciencia.

### **La narración de los experimentos y la comunicación científica de los alumnos**

En este sentido adquiere un alto valor educativo el estimular a los estudiantes a protagonizar creativamente la construcción y reconstrucción permanente de los significados científicos en las prácticas experimentales mediante la narración progresiva de sus propios textos, de tal manera de favorecer la evolución conceptual distintiva de su lenguaje cotidiano y del lenguaje erudito que aprenden. Debido a ello, no podemos olvidar que una de las

características fundamentales del lenguaje científico es su alto nivel denotativo, con un complejo grado de especificidad en relación al contexto en que se utiliza, siendo por lo tanto un lenguaje altamente socializado, pues sus implicaciones van más allá del ámbito personal y concreto, reflejando las evoluciones conceptuales que en un momento dado de la historia de la ciencia comparte una determinada comunidad científica (Izquierdo *et al.*, 2006; Solsona & Quintanilla, 2005).

Implica desde una orientación didáctica y epistemológica realista pragmática que los términos no se pueden definir con total exactitud y precisión, puesto que al admitir la naturaleza compleja y dinámica de los significados científicos, queda subrayada la importancia del análisis semántico del lenguaje empleado por los alumnos, ya que podemos concebir el aprendizaje como algo susceptible de ser representado por procesos de diferenciación y globalización semánticos. En efecto, siguiendo las ideas de Vygotsky, dentro de un contexto cotidiano los significados evolucionan de lo concreto a lo abstracto, mientras que en el ámbito de la ciencia escolar, conceptos más abstractos e inclusivos sirven para comprender posteriormente aspectos concretos de la realidad (Llorens, 1991; Osborne & Freyberg, 1995).

Es a partir de los años cuarenta, en el pasado siglo, que 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 a nuestras propias ideas<sup>4</sup>. Uno de los aportes que apoyará esta idea será la pragmática de la lengua, consolidando la idea de que el lenguaje tiene distintos usos y no sólo el de *describir* el mundo: servirá para preguntar, expresar, explicar, etc. Desde luego en el ámbito de las conferencias científicas no podemos eludir que hay unas relaciones y normas cuyo juego lingüístico le dan formas sociales y costumbres diferentes a las palabras según las empleemos con determinada intencionalidad y función comunicativa<sup>5</sup>. Hay 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 modalidades de comunicar la actividad científica en la escuela.

Así, la ciencia en el aula tiene unos modos de comunicación específicos para que profesor, alumno y sociedad se entiendan. Sin embargo, si una de las funciones de la escuela es educar en ciencias, debemos pensar en la necesidad de crear los ambientes adecuados para que nuestros alumnos también aprendan a hablarla puesto que utiliza

<sup>4</sup> Me ha parecido de muchísimo interés la visión de Goethe en este sentido 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 dialéctica. Ver Goethe y la Ciencia, editado por J. Naydler. Ediciones Siruela, Barcelona. Pp. 127.

<sup>5</sup> Al respecto, ver Wittgenstein, L. (1953), *Philosophical Investigations*, ed. De G.E.M. Anscombe y R. Rhes, Oxford, Blackwell.

términos y expresiones gramaticales que tienen significado en el contexto de emitir hipótesis, o de interpretar resultados, o de concluir, pero todo al interior de las lógicas propias de la comunidad científica. Se espera que los alumnos utilicen el lenguaje de la ciencia para traducir las preguntas, las explicaciones, las dudas, que surgen de la vida cotidiana en términos de significados compartidos y que necesariamente no son las mismas que preocupan al científico.

Después de lo que he presentado en los párrafos anteriores, resulta relevante preguntarse sobre la importancia del lenguaje en las ‘actividades prácticas’ o ‘actividades experimentales’, en la medida que contribuyan o no a la vinculación del pensamiento cotidiano y del pensamiento científico. Tomemos un ejemplo. En los libros de texto científicos que de manera habitual utilizamos como materiales de apoyo al trabajo en el aula o en las prácticas experimentales, se intenta *usar* un lenguaje preciso (o riguroso) para decir de la mejor manera posible lo que se quiere mediante el lenguaje ya disponible por la comunidad científica, pues solo así será inteligible para los lectores; sin embargo, la ‘nueva creación científica’ requiere consolidar nuevos significados, dando lugar a nuevas estructuras y tipologías textuales que enfatizan aspectos diferentes de la realidad. Con ello, algunos de los antiguos términos habrán cambiado, puesto que se aplican a una realidad nueva. El uso reiterado de este nuevo lenguaje organiza, canaliza y orienta el discurso de los estudiantes, pero también lo sesga: gracias al ‘nuevo texto’, la realidad ya no se nos muestra de la misma manera: lo que está escrito es, a veces, más real que los referentes sobre lo cual se escribe (Izquierdo, 1995).

Al respecto, en una investigación desarrollada hace ya algún tiempo con estudiantes de enseñanza media en un colegio de Santiago de Chile pudimos constatar con evidencia empírica una primera reflexión sobre cómo los alumnos construyen y reconstruyen en el laboratorio el concepto de *reacción química* entre ácidos y metales (Quintanilla & Izquierdo, 1997). Para ello se analizaron y evaluaron los protocolos de un grupo de adolescentes que desarrolló actividades experimentales de química durante cuatro sesiones consecutivas, y se exploraron las ideas que éstos expresaron tanto al organizar, observar, describir, reflexionar y evaluar una reacción química de ácido nítrico con metales tales como cobre, zinc, magnesio y estaño en su estado elemental. Al analizar los textos de los alumnos utilizamos como instrumentos las *redes sistémicas o networks* que han demostrado ser bastante útiles en otras investigaciones (Estaña, 1996; Solsona, 1994; Sanmartí, 1993).

Nuestros resultados iniciales nos permitieron distinguir dos ‘estructuras discursivas’ a las que llamamos el *lenguaje topológico* y el *lenguaje reflexivo* (Quintanilla, 1997). El lenguaje topológico se refiere a aspectos propiamente cualitativos o cuantitativos de la experimentación escolar, con expresiones tales como: *cambió de color, cambió la temperatura, se formó un sólido, se produjo gas, salió espuma, se disolvió el metal, se evaporó el ácido, desprendió burbujas*, etc. Lo esencial en este tipo de lenguaje es la



‘exploración del territorio del fenómeno’, es decir, color, olor, textura, aspecto o mediciones de variables específicas tales como temperatura, volumen, densidad y masa, sin insistir en la explicación de *por qué ocurre el fenómeno científico*.

Por otra parte, el lenguaje reflexivo *sería* el que manifiesta entre otras ideas las de evaluación, análisis y juicio personal de un fenómeno experimental, evidenciado a través de la expresión de frases tales como: *nos da la impresión que, no siempre la...; aparentemente no ocurrió...; rara vez..., se advierte que*, etc. Es un lenguaje más elaborado, que sugiere una posible explicación a lo que se ha observado, cuya narración científica correspondería a una representación conceptual inicial del fenómeno (ver Tabla 2). Los alumnos *topológicos* utilizan conceptos, atributos y expresiones que son frecuentes en el lenguaje cotidiano, cuyo uso sistemático reforzaría aspectos propiamente sustancializadores de la observación científica tal y como se ha venido señalando en otras investigaciones (Llorens, 1991; Sanmartí, 1990). Así mismo, el lenguaje que hemos llamado *reflexivo* nos permite constatar que corresponde a una forma de discurso diferente de la experiencia cotidiana y más próxima a la experiencia científica (Quintanilla, 1997). Esto es a mi modo de ver relevante en las explicaciones científicas *de los alumnos* que hemos analizado, puesto que, como lo señaláramos oportunamente, el *lenguaje reflexivo* orientó a los alumnos para que modificaran paulatinamente sus explicaciones científicas a medida que transcurrían las sesiones de prácticas experimentales y consolidaban sus modelos teóricos iniciales.

Si llevamos estas argumentaciones al plano de la didáctica de las ciencias naturales y a la investigación-acción situada en la experimentación escolar hemos visto que la forma de *enseñar a pensar y a observar* científicamente es sumamente compleja ya que no es fácil que el estudiante *se dé cuenta mientras escribe* que está pensando con teoría. Si tomamos como ejemplo uno de los casos investigados<sup>6</sup> (el caso AE<sub>6</sub>), nos damos cuenta que la narración científica elaborada constituye un *evidente esfuerzo* de parte de los alumnos por elaborar una respuesta relevante, amplia y significativa y que represente la evaluación de su actividad científica experimental desde la particular lógica del fenómeno recreado y analizado cooperativamente (Quintanilla, 1997). Así se elaboran lo que he llamado las *secuencias explicativas* que son una *representación semántica* que explicaría cómo el alumno está concibiendo un proceso científico, permitiéndole, además de reconstruir significados, relacionarlos entre sí y con otros, apropiándose de ellos, organizándolos y reorganizándolos permanentemente. Por ejemplo, Arturo, Cristóbal y Sebastián (AE<sub>6</sub>) *se proponen* determinadas hipótesis según se especifica en la Tabla 3. Estas hipótesis *son investigadas* experimentalmente por los tres estudiantes, llegándose a una serie de conclusiones que pueden ser organizadas en términos de secuencias explicativas, es decir, disponemos de un *modelo interpretativo*

<sup>6</sup> Se cita uno de los 12 casos finalmente estudiados en profundidad, que equivale al 10% de la muestra original de 120 alumnos analizados en la investigación (Quintanilla, 1997).

**Tabla 2**  
**NARRACIONES DE LOS EXPERIMENTOS QUE COMUNICAN**  
**LOS ALUMNOS EN LOS PROTOCOLOS**  
 (Quintanilla, 1997)

<b>Práctica P1<sup>9</sup></b>
<b>Reactivos / Actividades</b>
HNO <sub>3</sub> , Sn y Zn
<b>Narraciones – Reflexiones explicativas</b>
<i>“...No todos los ácidos necesitan calor para reaccionar, el estaño tuvo que ser necesario<sup>10</sup> calentarlo por 10 minutos para que reaccionara totalmente. El cobre, zinc y magnesio no necesitan el calor para reaccionar. Nuestra hipótesis fue falsa ya que no todos los metales necesitan calor...”</i>
<b>Práctica P2<sup>11</sup></b>
<b>Reactivos / Actividades</b>
Mezclas de ácidos con magnesio
<b>Narraciones – Reflexiones explicativas</b>
<i>“...Algunos ácidos<sup>12</sup> hicieron reaccionar al magnesio. Nuestra hipótesis no estuvo muy acertada. Observamos y aprendimos que algunos metales reaccionan con la temperatura...”</i>
<b>Práctica P3</b>
<b>Reactivos/ Actividades</b>
HNO <sub>3</sub> , HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CH <sub>3</sub> COOH, estaño
<b>Narraciones – Reflexiones explicativas</b>
<i>“...Como conclusión sacamos que no todos los metales reaccionan con los ácidos aunque se les aplique calor...”</i>
<b>Práctica P4</b>
<b>Reactivos/ Actividades</b>
Mezclas de ácidos con cobre
<b>Narraciones – Reflexiones explicativas</b>
<i>“...Los ácidos que estaban mezclados con nítrico reaccionaron más rápido que los otros a excepción del clorhídrico. La hipótesis se comprobó ya que el cobre reaccionó más rápido que en otras oportunidades...”</i>

<sup>9</sup> En prácticamente todos los protocolos los alumnos “escriben el nombre de las sustancias”. Hemos elaborado una síntesis de esa información, incluyendo por nuestra cuenta las “fórmulas de las sustancias ocupadas por los estudiantes”. Lo que efectivamente importa son las transcripciones que se han respetado en toda su textualidad.

<sup>10</sup> Respetamos la construcción de la oración aunque aparezca disonante.

<sup>11</sup> Aún cuando la actividad no coincide con el modelo elegido (un ácido-un metal) incorporamos el texto del grupo porque nos parece de interés la reflexión que los alumnos redactan.

<sup>12</sup> Se refieren a mezclas clorhídrico-nítricas; sulfúrico-nítricas; acético-nítricas y sulfúrico-acéticas.

que nos informa acerca de cómo los alumnos *narran el experimento desde su propia actividad creadora*.

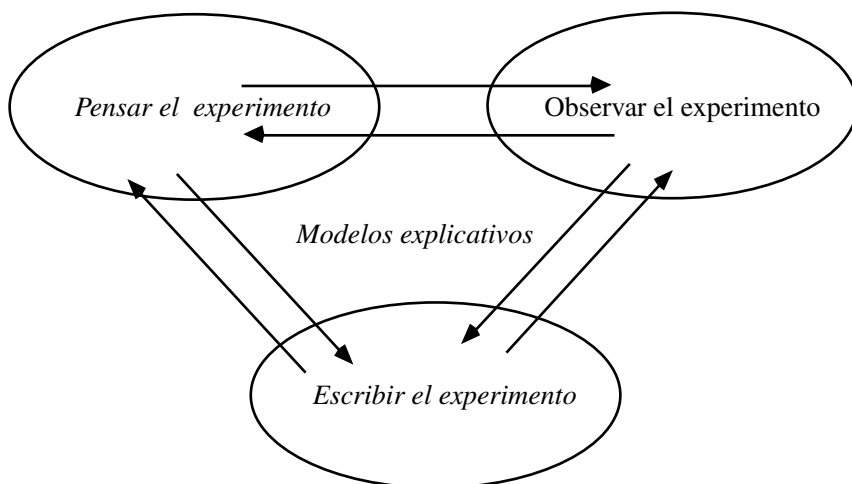
**Tabla 3**  
HIPÓTESIS QUE PROPONEN LOS ESTUDIANTES  
EN CADA PRÁCTICA EXPERIMENTAL (PN)  
(Quintanilla, 1997).

Sesión	Hipótesis que plantean los alumnos
P1	<i>Si a los metales les aplicamos una gran cantidad de ácido y alta temperatura, reaccionarán..., a diferencia que si le aplicamos poco ácido a bajas temperaturas</i>
P2	<i>El magnesio reaccionará en el ácido sin aplicarle calor...</i>
P3	<i>El estaño reaccionará con los ácidos al aplicarle calor...</i>
P4	<i>El cobre reacciona más rápido en ácidos mezclados...</i>

En consecuencia, los estudiantes se representan el concepto de reacción química y esta representación mental que construyen y reconstruyen en sus prácticas de laboratorio son coherentes con sus construcciones hipotéticas preliminares según ellos mismos anticipan (ver Tabla 3). Por otra parte, estos modelos de *secuencias explicativas* le permiten al alumno aprender desde la reformulación escrita de sus argumentaciones, que es lo que planteamos en nuestro modelo teórico inicial (Quintanilla, 1997) y que se sintetiza en la Fig. 2. En consecuencia, las *secuencias explicativas o representaciones* de los estudiantes serán más simples o más complejas en la medida que varíen los atributos y la carga semántica de las narraciones científicas. Esta tensión cognitiva, por decirlo de alguna manera, determinará la ‘calidad’ de las explicaciones científicas y la retórica de sus vinculaciones entre el pensamiento teórico, el lenguaje y la experiencia de los sujetos. Si enseñamos a los alumnos a identificar los planos de análisis por donde se moviliza su discurso explicativo podrían darse cuenta de ‘cómo’ están aprendiendo a hablar la ciencia mediante el desarrollo de competencias específicas (Quintanilla, 2006).

Los modelos de secuencias detectadas en esta investigación son útiles como un diagnóstico de las explicaciones científicas de los alumnos desde su propia actividad discursiva escolar. Esto nos explicaría en parte el problema que estoy planteando. A medida que se hacen más dinámicas estas relaciones entre los niveles de pensar, observar y escribir, se acentúan ‘diferentes posibilidades’ de explicaciones científicas, estimulando al alumno a aprender lo que piensa y con ello pasamos a los planos del desarrollo que hemos descrito en otras publicaciones y que le dan sentido a la comunicación discursiva de la ciencia en la escuela (Quintanilla, 2006; Labarrere & Quintanilla, 1999).

**Figura 2**  
 RELACIÓN DINÁMICA ENTRE PENSAMIENTO,  
 LENGUAJE Y EXPERIENCIA DE LA CIENCIA ESCOLAR Y  
 LA EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS TEÓRICOS DE LOS ESTUDIANTES  
 (Quintanilla, 1997).



Coherente con lo señalado hasta ahora, sería susceptible pensar que cuando se acentúan determinadas ‘tipologías explicativas’ estamos afirmando que el cambio o evolución conceptual se asemejaría más bien al abandono de una secuencia y a la incorporación de nuevos significados, así como a la evolución de las interconexiones que se establecen entre ellos o nuevas secuencias explicativas, de manera análoga a como lo plantea Toulmin (1977) para la historia de la ciencia. En consecuencia, existiría un alto riesgo cuando se definen los conceptos de ácido y metal, en ámbitos aparentemente dicotómicos (teórica o empíricamente), lo que produce de manera natural en el estudiante una tendencia a caracterizar las propiedades de los conceptos sin reflexionar el sentido que tienen, puesto que no los está observando y si lo hace reproduce mentalmente lo que el profesor le ha definido como atributos o propiedades de estas sustancias, los que emergen independientes de su experiencia con el mundo real<sup>13</sup>.

Desde la actividad científica intencionada en los planos de análisis y desarrollo, estamos planteando que los alumnos reconstruyen explicaciones científicas que debidamente orientadas por el profesor les permiten *pensar en lo observado* y *observar lo pensado* modelizándolo desde su propia lógica que es progresivamente compleja y por lo tanto se transforma en un proceso de aprendizaje autorregulado. En este sentido adquiere valor el estimular a los estudiantes a enfrentarse a la resolución de un problema científico de manera creativa (Labarrere & Quintanilla, 1999).

<sup>13</sup> Por ejemplo, la ‘vivencia’ de la ‘acidez estomacal’ o de ‘sentir’ ácidos algunos alimentos.

Estas argumentaciones se remiten también a lo que en la práctica cotidiana podríamos llamar discurso científico, que sería un modo universal de comunicación o retórica propia de los textos científicos (protocolos de laboratorio) y que se evidencia a través del proceso de textualización. Aún así la textualidad del texto, y con ella su narración explicativa, es modificada por el proceso social y cooperativo que se vive en el aula y que de manera consciente o inconsciente provoca conflictos sociocognitivos que contribuyen a la reorganización mental de lo que el texto científico quiere comunicar a una audiencia específica (sus pares o el profesor). En consecuencia, las narraciones explicativas de los sujetos que aprenden ciencia mediante una experimentación escolar serían *representaciones dinámicas* que están en permanente cambio al interior de la clase y que el profesor puede modelizar apropiadamente (Izquierdo *et al.*, 2006)

El docente debe cautelar de manera razonable, entre otros, el entorno cultural y social en el que se transfieren los saberes eruditos, los estilos de pensamiento de los estudiantes y la complejidad que se advierte en la modelización de un determinado fenómeno científico en el laboratorio, lo cual no comienza ni termina con la realización y descripción de un determinado experimento desprovisto de su referente teórico que le da sentido. Esto será sólo un vehículo para continuar investigando cómo el estudiante logra comprender, construir, textualizar y hacer evolucionar sus propios modelos explicativos. Asimismo, me arriesgo a señalar que estos *modelos o secuencias* poseen el suficiente valor *explicativo y predictivo* como para que los estudiantes comiencen a *comprender* la interacción entre determinadas sustancias químicas.

En definitiva, es necesario *saber leer lo que se narra* para que el discurso científico que se dinamiza en la clase de ciencia no se desconecte de la realidad, para que los símbolos, diagramas, fórmulas, tablas, matrices, gráficos que se presentan por escrito no se sobredimensionen, adquiriendo importancia en ellas mismas desconectándose de su base experimental y teórica (Quintanilla, 1998). Esto implica que en el *saber leer lo que se escribe* está implícito el *saber interpretar lo que se lee* a la luz de la experiencia personal y de las propias visiones que se tienen sobre el hecho científico o hechos del mundo y cuya comprensión se puede evaluar por la capacidad de actuar experimentalmente. Como señala Izquierdo (1995), para ello se requiere la elaboración de una explicación científica escolar que utilice un modelo teórico y que sea comprendida y modelizada por el alumno.

Sin embargo, a pesar del potencial educativo atribuido a la experimentación escolar y al tratamiento didáctico que se hace de los *contenidos científicos escolares* (CCE), existen diferencias significativas entre lo que se pretende lograr mediante estas actividades de aprendizaje y lo que se logra realmente, poniendo en duda que ciertas prácticas experimentales sirvan realmente para alcanzar muchos de los objetivos citados ya que, como lo he venido insistiendo, los modelos explicativos iniciales de toda persona que aprende acostumbra a ser escasamente elaborados, simples y poco coherentes desde la lógica ‘tradicional’ del científico.

Del mismo modo, en el transcurso de las actividades experimentales estos *modelos inestables* se van transformando paulatinamente en modelos más evolucionados que pueden constituir explicaciones de hechos o fenómenos particularmente complejos, coherentes y de mayor estabilidad. Del mismo modo, se van diferenciando también los modelos científicos elaborados a lo largo de la historia de las ciencias y los modelos de representaciones cotidianas que tienen los alumnos (Quintanilla, 2006a). Como profesores de ciencias naturales, hemos de velar teóricamente para que la experimentación escolar sea efectivamente significativa y llegar con un lenguaje apropiado a la estructura cognitiva del alumno. Esta es quizá la etapa más crucial para que el estudiante inmerso en sus propios mecanismos de modelación del mundo material acepte sus potencialidades y limitaciones estableciendo las situaciones que le facilitarán la construcción y aprendizaje del conocimiento científico, particularmente cuando se construye, por ejemplo, en forma escrita el experimento.

De esta manera, para que el experimento se pueda narrar por escrito es necesario crear las estructuras lingüísticas y textuales necesarias para que el conjunto discursivo resulte convincente (tablas de datos, ilustraciones de instrumentos, accesorios, materiales, procedimientos experimentales, observaciones, etc.). Así, incluso un mismo hecho de la naturaleza puede tener funciones diferentes al pasar a formar parte de un protocolo de laboratorio: es objeto de una constante reconstrucción, que empieza ya en la libreta de apuntes y que tiene como finalidad interpretar el experimento mediante el constructo teórico en el que ha sido pensado originalmente (Izquierdo, 1993).

### **Algunas propuestas desde la didáctica de las ciencias naturales**

Las reflexiones que he presentado se han potenciado en sí mismas desde una orientación metateórica, cuya base es el modelo cognitivo de ciencia que plantea unas finalidades humanas de la ciencia, su divulgación y enseñanza y que puede proporcionar a la ciencia escolar excelentes aportaciones desde una visión realista pragmática o lo que se ha dado en llamar de *racionalismo moderado o hipotético* para incorporar el lenguaje como un problema en educación científica frente a los desafíos que impone una nueva cultura docente y ciudadana (Izquierdo *et al.*, 2006). Algunas acciones y estrategias que pueden resultar muy útiles en este sentido podrían ser, entre otras, las que señalo a continuación:

- *Enseñar a escribir y a leer ciencia.* El lenguaje es una estrategia muy potente para 'leer el mundo' con modelos explicativos propios aunque sean inexactos en un comienzo. Por ejemplo, explicar historias contextualizadas que pueden ser utilizadas desde un punto de vista educativo-filosófico: para introducir conceptos científicos, para motivar, para promover determinadas actitudes y valores hacia

la ciencia, para relacionar conocimientos de diferentes áreas (química, física, historia, filosofía, economía), fundamentando así el carácter interdisciplinario de la construcción de la ciencia y su historia (Izquierdo, 2000).

- *Superar la visión instrumental del lenguaje científico*, basada exclusivamente en la enseñanza de algoritmos y en la cultura del ‘símbolo’. Comentar con los alumnos los aspectos históricos de la retórica científica. Por ejemplo, la función de las fórmulas en la química de los siglos XVIII y XIX. Actualmente se puede acceder por Internet a imágenes y textos originales de gran calidad científica que los profesores pueden utilizar apropiadamente.
- *Autorregulación del aprendizaje*. Acompañar permanentemente al estudiante en la comprensión de la naturaleza de la ciencia y ‘sus métodos’ enseñándole a valorar ‘lo cierto, lo bueno, lo bello’ del conocimiento científico y la complejidad de su lenguaje que puede ser aprendido. Los profesores debiéramos reflexionar siempre ¿cómo se puede inducir al alumnado a plantearse ‘buenas preguntas’ dirigidas a la esencia de un tema y argumentarlas con un lenguaje coherente?
- *Comunicación y resignificación conceptual*. Propiciar la clase de ciencia como un foro de discusión donde se dará especial importancia al lenguaje y a los procesos de comunicación discursiva de significados científicos entre el profesor, la disciplina traspuesta y los aprendices, donde las ideas pueden expresarse o comunicarse de diversas formas. Por ejemplo, leer textos históricos expresamente seleccionados (como se hace en la clase de literatura) haciendo ver que los libros siempre se escriben pensando en quien los ha de leer y que reflejan los valores y cultura de una época (Izquierdo, 2000).
- *Historia de la ciencia y aprendizaje*. Los recursos, medios e instrumentos de aprendizaje de las ciencias deberán pensarse teóricamente sobre la base de una orientación metateórica basada en la historia de la ciencia, la epistemología de las ciencias y los nuevos avances en la investigación en didáctica de las ciencias para que *lo que se dice* tenga sentido y valor en la clase. Por ejemplo, identificar y describir instrumentos antiguos mediante láminas o esquemas obtenidos de reproducciones en revistas de divulgación, libros de texto o sitios en Internet. Reflexionar los materiales con que fueron elaborados, cómo se divulgaron, qué aportaron, las ideas que suscitaban o las polémicas que atenuaban en diferentes épocas, etc.
- *Valores*. Conectar la clase de ciencias con los valores y expectativas de nuestra época actual y los procesos cambiantes de un mundo nuevo y globalizado. El lenguaje de las ciencias nos permite también comprender las épocas y el desarrollo sociocultural de los diferentes públicos de la ciencia a lo largo de la historia de la ciencia. Asumir que la actividad científica es una actividad de intervención y transformación del mundo con una finalidad humana e inmersa en un ‘paradigma’ de valores y reglas establecidas social y culturalmente (Izquierdo *et al.*, 2006b).

- *Lenguajes diversos y en contexto.* Enseñar a ver el ‘contenido científico’ como un problema en sí, es decir, evaluar que lo que enseñamos tenga sentido y valor para el alumno, puesto que aparecen nuevas disciplinas y los conocimientos científicos aumentan sin parar, y con ello sus nuevos lenguajes. Hacer simulaciones o dramatizaciones de situaciones históricas, de debate en las cuales los alumnos y alumnas puedan argumentar sus ideas. Por ejemplo, en el caso de la enseñanza de la Teoría Atómica, un grupo de la clase será partidario de las ideas de Dalton, en tanto que otro grupo defenderá las ideas de Berthollet (Quintanilla, 2006c).
- *Experimentación escolar.* Intentar repetir prácticas experimentales relevantes, haciendo ver cuáles eran las ideas científicas en el tiempo que se postularon, las estrategias de divulgación que se utilizaron, las posibilidades de interpretación que se tenían con los instrumentos disponibles y la utilidad de las mismas para el avance teórico, superando las limitaciones de un análisis centrado en si las teorías científicas ‘eran verdad o no lo eran’ en determinadas épocas.

### **Algunas reflexiones finales para el debate didáctico y pedagógico**

He presentado en este artículo algunas ideas que me parecen teórica y experiencialmente muy relevantes a la hora de pensar en cómo estamos potenciando el lenguaje, y con ello el aprendizaje, de las ciencias. Situamos el tema desde un análisis didáctico y epistemológico, puesto que estos referentes le dan consistencia a la toma de decisiones y a la gestión del conocimiento científico de los profesores en el aula, aun en contextos restrictivos de aprendizaje. Sin embargo, vemos en la realidad que poco o nada se conoce de estos elementos de análisis para superar las enormes dudas o contradicciones que, eventualmente, surgen en la reflexión del profesor y del propio estudiante. El origen de estas dudas, contradicciones y acuerdos que he presentado en este artículo está en aceptar que lo más importante de la ciencia en la escuela y en la formación profesional del profesorado de ciencias es actuar con un objetivo compartido entre alumnos y profesores y en que es difícil que el objetivo de esta ciencia (aprobar o ‘pasar de curso’) coincida con el objetivo del conocimiento científico, es decir, interpretar los fenómenos pensando y discutiendo en un entorno disciplinar donde *se habla, escribe, comunica y divulga la ciencia.*

Desde el 2000, en nuestro Grupo de Investigación GRECIA<sup>14</sup> del Departamento de Didáctica de la Facultad de Educación de la PUC hemos desarrollado una serie

---

<sup>14</sup> Grupo de Reflexión en Enseñanza de las Ciencias e Investigación Didáctica Aplicada, cuyo director es el autor de este artículo y que está vinculado a la Red de Enseñanza de las Ciencias de UNESCO-OREALC.



acciones y materiales que están basados en estos lineamientos teóricos que he presentado. Entre ellos, tres libros de textos (biología, física y química) para segundo año de enseñanza media que son utilizados como apoyo a la docencia y a la investigación de profesores en formación en la Pontificia Universidad Católica de Chile, de profesores en servicio y en la educación media científico-humanista de colegios privados (segundo año de enseñanza media) bajo la misma premisa teórica y con una opción resignificada y aumentada según las orientaciones de la Reforma Educacional Chilena en marcha. Nuestra meta es acentuar esta idea y promoverla también, algún día, a nivel del sistema escolar público.

## Bibliografía

- Bordieu, P.** (2003). *El oficio del científico*, Anagrama, Barcelona.
- Camacho, J.** (2006). El concepto de ley periódica a través de la historia de la química: Un análisis desde el modelo de evolución conceptual de Toulmin, *Memorias del Curso: Teoría Didáctica y Construcción del conocimiento disciplinar en la escuela*, Semestre 1, Vol. (1) 67-77.
- Candela, A.** (1999). *Ciencia en el aula*. Paidós. México.
- Copello, M.** (1995). La interacción maestra-alumnado en el aula: dilemas sobre acciones favorecedoras del acercamiento entre los significados en relación a contenidos de ciencias naturales. *Tesis de Master*. Departamento de Didáctica CCEE i Mm, U. Autónoma de Barcelona, España.
- Dewey, J.** (1989). *Cómo pensamos*. Paidós, Barcelona.
- Echeverría, J.** (1995). *Filosofía de la Ciencia*. Madrid, Paidós.
- Estaña, J.** (1996). La importància dels exemples en les explicacions dels estudiants de ciències. *Tesina de Master*. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad Autónoma de Barcelona.
- Giere, R.** (1992). Cognitive models of Science, XV-XXVIII. In: *Cognitive Models of Science*, Giere, R. (Ed.). Minneapolis: University of Minnesota Pres.
- Izquierdo, M.** (2001). *Fundamentos epistemológicos*. En: Didáctica de las Ciencias Experimentales: Teoría y Práctica. Perales, F.J. & Cañal, P. (eds). Alcoy: Marfil, Madrid.
- Izquierdo, M.** (2000). Relacions entre la història i la didàctica de les ciències, *Actes de les V Trobades d'història de la ciència i de la tècnica*, Barcelona.
- Izquierdo, M.** (1995). La V de Gowin como instrumento para la negociación de los lenguajes. *Aula*, 43.
- Izquierdo, M.** (1993). The use of theoretical models in science teaching. The paradigmatic facts, In: *Proceedings of 3er International Seminar of Misconceptions and Science Education*, Cornell University, Ithaca, N.Y.
- Izquierdo, M.; Quintanilla, M.; Vallverdú, J. & Merino, C.** (2006). Relación entre la historia y la filosofía de las ciencias II. *Alambique*, 48, 78-91.
- Izquierdo, M. & Rivera, L.** (1997). La escritura y la comprensión de los textos de ciencias. *Alambique*, 11, 24-34.
- Labarrere, A. & Quintanilla, M.** (2001). *La solución de problemas científicos en el aula. Reflexiones desde los planos de análisis y desarrollo*. Revista Pensamiento Educativo, Ediciones PUC., Vol. 30, 121-138.
- Labarrere, A. & Quintanilla, M.** (1999). La creatividad como proceso de desarrollo en ambientes restrictivos. ¿Cómo aproximarla en la ciencia escolar? En: Revista *Pensamiento Educativo*, Vol. (24), 249-268, Ediciones de la Facultad de Educación, UC.

- Labarrere, A. & Quintanilla, M.** (2006). La evaluación de los profesores de ciencias desde la profesionalidad emergente. En: *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y propuestas*. Quintanilla, M. & Adúriz-Bravo (eds). Ediciones PUC, Santiago de Chile, p. 257-278, Cap. 12.
- Labarrere, A. & Quintanilla, M.** (2005). Evaluación profesional del maestro de ciencia y resignificación del conocimiento científico, en: Actas del VII Congreso Internacional en Enseñanza de las Ciencias, Granada, España.
- Lemke, J.** (1997). *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*. Paidós. Barcelona.
- Llorens, J.** (1991). *Comenzando a aprender química*, Aprendizaje Visor, Barcelona.
- Mortimer, E.** (2000). *Lenguaje y formación de conceptos en la enseñanza de las ciencias*. Aprendizaje Visor, Madrid.
- Nussbaum, J. et al.** (1989). Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *Internacional Journal of Science Education*, Vol II, Special Issue, págs. 530-540.
- Ogborn, J. et al.** (1998). *Formas de explicar. La enseñanza de las ciencias en secundaria*. Aula XXI, Santillana, Madrid.
- Osborne, J. & Freyberg, P.** (1995) *El aprendizaje de las ciencias*. Narcea, Madrid.
- Quintanilla, M.** (2006). Historia de la ciencia, ciudadanía y valores: claves de una orientación realista pragmática de la enseñanza de las ciencias. En: *Educación y Pedagogía*, V (45), Cap. 1, 9-24.
- 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*. Quintanilla, M. & Adúriz-Bravo (eds.). Eds. Universidad Católica, Cap. 1, 17-42.
- Quintanilla, M.** (2005). Historia de la ciencia y formación docente: una necesidad irreducible. *Revista TED*, Vol. extra, 34-43. Ediciones de la Universidad Pedagógica de Bogotá, Colombia.
- 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. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, Vol. (19), N° 1, 9-30.
- Quintanilla, M.** (2003). Hablar y construir la didáctica hoy: del modelo ingenuo transmisor al modelo crítico productor de conocimiento. *Revista REXE*, Vol. (4), 69-82, Publicaciones de la UCSC, Concepción, Chile.
- Quintanilla, M.** (2002). La narración de los experimentos y el lenguaje de los estudiantes. *Visiones Científicas*, Vol. (5), N° 2, 41-56, Publicaciones de la UPLA, Valparaíso, Chile.
- Quintanilla, M.** (1998). La importancia del lenguaje en el proceso de comunicar la ciencia. Su relación con la enseñanza, la evaluación y el aprendizaje. *Siglo 21*, Año 4, N° 9, México.

- Quintanilla, M.** (1997). *La creatividad como estrategia de aprendizaje en el laboratorio escolar*. Tesis Doctoral. Publicaciones del Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad Autónoma de Barcelona, 445 pp.
- Quintanilla, M.; Romero, M.; Etcheagaray, F. & Salduondo, J.** (2006). Innovación científica y tecnológica en un mundo global: ciudadanía y valores para una nueva cultura docente. *Actas del 33 Congreso Mundial de Trabajo Social*, Santiago de Chile.
- Quintanilla, M.; Izquierdo, M.** (1997). La construcción del experimento escrito en estudiantes de secundaria. *Actas del V Congreso Internacional de Didáctica de las Ciencias*, Murcia, España.
- Quintanilla, M.; Izquierdo, M. & Adúriz-Bravo, A.** (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. *Proceedings of IHPST international conference of history and philosophy of science and science teaching*, University of Leeds, England.
- Sanmartí, N.** (1997). Enseñar a elaborar textos científicos en las clases de ciencias. *Alambique*, 12, 51-62.
- Sanmartí, N.** (1993). *Las redes sistémicas: construcción y aplicaciones*. Documento de trabajo. Departamento de Didáctica CCEE i Mm, U. Autónoma de Barcelona, España.
- Sanmartí, N.** (1990). Dificultades en la comprensión de la diferenciación entre los conceptos de mezcla y compuesto. *Tesis Doctoral*. Departamento de Didáctica CCEE i Mm, U. Autónoma de Barcelona, España.
- Solsona, N., Quintanilla, M.** (2005). Reflexions i propostes per al debat educatiu – diàctic entorn a la història de la ciència. *Actas de las II Jornada sobre la Història de Ciència i l'Ensenyament*, Societat Catalana d'Història de la Ciència, Barcelona.
- Solsona, N.** (1994). La combustió: una estratègia per a la modelització del canvi químic. *Tesis de Master*. Departamento de Didáctica CCEE i Mm, U. Autónoma de Barcelona, España.
- Toulmin, S.** (1977). *La comprensión humana*. Paidós, Barcelona.
- Uribe, M. & Quintanilla, M.** (2005). Aplicación del modelo de Toulmin a la evolución del concepto de sangre en la historia de la ciencia. Perspectivas didácticas. *Actas del VII Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias*, Granada, España.
- Vygotsky, L.** (1995). *Pensamiento y lenguaje*. Paidós, Barcelona.

FECHA DE RECEPCIÓN: 20 de noviembre de 2006

FECHA DE ACEPTACIÓN: 8 de diciembre de 2006