

EL DILEMA EPISTEMOLOGICO Y DIDACTICO EN EL CURRÍCULUM DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS ¿COMO ABORDARLO EN UN ENFOQUE CTS?¹

DR. MARIO R. QUINTANILLA GATICA²

Resumen³

En este artículo elaboro algunas reflexiones a propósito de la fundamentación didáctica y epistemológica de la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva de Ciencia, Tecnología y Sociedad. Al respecto, abordo los principales procesos históricos de la construcción del conocimiento científico desde los modelos positivistas hasta los modelos cognitivos de ciencia y de la necesidad de que el profesor esté consciente del modelo de ciencia y del modelo de enseñanza de las ciencias que adopta.

Abstract

In this article, I reflect on didactic and epistemological fundamentals of the teaching of sciences from the perspective of Science, Technology and Society. In that respect, I deal with the main historical processes of the construction of scientific knowledge, from positivist to cognitive scientific models. I also take into account the necessity that the teacher be aware of the model of science and the model for the teaching of sciences he adopts.

¹ Extracto de la Conferencia presentada en la Convención Intercontinental de Psicología y Ciencias Humanas “Crecimiento Humano y Diversidad”, *Hominis '99* celebrado en el Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba, noviembre 1999.

² Dr. en Enseñanza de las Ciencias Experimentales de la Universidad Autónoma de Barcelona. Académico e Investigador de la Facultad de Educación de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Avda. Vicuña Mackenna 4860. Macul. Santiago. Chile. E-Mail: mquintag@puc.cl Tel. (56-2) 686.53.45; Fax (56-2) 553.0092.

³ Este artículo es producto del proyecto DIPUC N° 98-II/07CE “Análisis del discurso del profesorado de ciencias experimentales y matemáticas en la escuela secundaria. Su ímpetu en la enseñanza, la evaluación y el aprendizaje”. Proyecto financiado por la Dirección de Investigación y Postgrado (DIPUC).

Introducción

Comenzaré señalando que la problemática que intentaré presentar ha sido y es objeto de muchísimas investigaciones didácticas, cuyos resultados no dejan de ser complejos, ilustrativos, interesantes, pero también angustiantes y desalentadores. A la luz de una rigurosa sistematización, pareciera que las hipótesis explicativas de la problemática que subyace a la selección y determinación de un proyecto curricular en enseñanza de las ciencias, directa o indirectamente apuntan a responsabilidades compartidas al interior de las instituciones formadoras de profesores, en las cuales coexisten modelos de ciencia y de enseñanza de las ciencias que no han superado la visión positivista de fines del siglo XIX (Quintanilla *et al.*, 1999). En este mismo sentido, la investigación educativa en ciencias experimentales y los marcos teóricos y epistemológicos se constituyen en los fundamentos centrales para generar alternativas curriculares en la formación de formadores en el siglo XXI que favorezcan por una parte cambios en la revisión de planes de estudio, diseño e implementación de nuevas carreras, producción de nuevas tecnologías, desarrollo y evaluación de recursos, etc., y además generación de espacios de documentación, experimentación e investigación en el campo de la didáctica de las ciencias experimentales, disciplina emergente que se consolida en el escenario educativo globalizado y cuyas consecuencias derivadas de ello son quizá todavía impredecibles.

Intentaré, por tanto, compartir con ustedes una reflexión más bien histórica en relación a la ciencia y su enseñanza para tratar de encontrar explicaciones causales que permitan entender por qué es relevante la apropiación epistemológica y didáctica de un currículo de enseñanza científica que adopta el enfoque de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS).

**Principales interrogantes o dilemas del abordaje curricular:
de la ciencia de los científicos a la *ciencia escolar o ciencia enseñable***

Con respecto a este punto, es decir acerca de qué y cómo elaborar una propuesta curricular de ciencia escolar debemos tratar de establecer en primer término qué y cómo es lo que piensan los científicos, profesores y alumnos acerca de la ciencia, su método y su naturaleza. Esto es sustancial, pues hay unas concepciones alternativas o unas teorías implícitas propias acerca de la enseñanza, la evaluación y el aprendizaje que tienen los científicos; aquellas que tienen los profesores en tanto cuanto asumen la educación científica y su currículum declarativo como un proceso o como un sistema con determinadas variables que se pueden más o menos controlar y, finalmente, las ideas que desarrollan los alumnos dentro de un escenario reflexivo y creador de significados propios. Al respecto, las concepciones alternativas que los estudiantes elaboran sobre una 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 (Nussbaum, 1989; Sanmartí, 1990).

Tales investigaciones, más bien de carácter descriptivo-empírico, han evidenciado lo que los alumnos piensan, pero no se sabe cómo modifican ese estado, porque no hay modelos interpretativos que definan estos modelos, de qué variable puede depender que el sujeto piense de esa manera y le cueste tanto dejar de pensar como piensa para pasar a pensar lo que el profesor le dice que tiene que aprender. Finalmente, lo acaba aprendiendo, pese a nuestras ideas espontáneas, pese a los empeños más o menos logrados del profesor (o del científico) que le transfiere con su lógica y visión propia aquellas ideas sobre la ciencia y su naturaleza. En este caso particular la ciencia desde un modelo más bien instrumental, funcional y cultural-tecnológico como podría entenderse el enfoque CTS.

Evidentemente, hay un problema que condiciona ciertamente el aprendizaje o las representaciones de dichas ideas (y con ello el currículum adoptado) y es un problema diríamos nuevo: no se sabe cómo funcionar con ellas, contra ellas o funcionar con ellas haciéndolas evolucionar. Porque no hay modo de representar en un modelo cómo se forma y cómo funciona ese pensamiento espontáneo en los estudiantes, profesores o científicos puesto que cuando el alumno inicia una situación de aprendizaje escolar, ya lleva su particular visión explicativa del fenómeno que se le propone aprender (Driver, 1985, 1986; Gutiérrez, 1989; Sanmartí, 1990,1994; Osborne *et al.*, 1991; Quintanilla & Izquierdo, 1997). En este contexto, si se presenta al alumno una situación de “descubrimiento”, como propone el *modelo curricular de aprendizaje inductivista*, redescubre lo que ya pensaba, lo cual es un modelo de ciencia escolar bastante diferente a las propuestas de construcción de conocimiento que nos plantea la ciencia actual. De esta manera, aprender ciencias, significa aprender a cambiar de punto de vista o lo que es lo mismo a “cambiar conceptualmente”. En definitiva, la adopción de un modelo curricular de enseñanza de las ciencias (CTS por ejemplo) deberá asumir esta problemática didáctica desde una fundamentación epistemológica propia en la que sean coherentes los modelos de ciencia (argumentación epistemológica) y los modelos de enseñanza, evaluación y aprendizaje (argumentación didáctica).

En consecuencia, no es fácil enseñar al alumno a comprender cómo y para qué se aprenden las ciencias y su vinculación directa o indirecta con la tecnología y la sociedad. Requiere, por parte del docente, de un compromiso permanente no sólo con la transferencia de conceptos sino que con los modos o estilos con que los estudiantes están percibiendo la realidad, concibiendo el mundo y aprendiendo también a través de él a modelizarlo, comunicarlo e interpretarlo. Una de las consideraciones que en este sentido ha de tener *un currículum epistemológicamente fundamentado* será la de estimular a los estudiantes a protagonizar creativamente la construcción social del conocimiento científico en la escuela. Los jóvenes dotados de inge-

nio, imaginación, independencia y capacidad creadora pueden desarrollar así sus aptitudes en plenitud, y en el día de mañana integrar los planteles de investigadores y científicos que requerirá nuestra América Latina. En este aspecto, surge la grande y primera responsabilidad de los profesores de ciencias: detectar y encauzar a esas mentes curiosas de jóvenes y entusiasmarlas en su adelanto, formación y progreso. Hacerles comprender que una elevada capacidad de trabajo en ciencias, no es mérito propio. Sí lo será, al aprovechar esa capacidad creadora para ser más útil a sus semejantes. Una actitud abierta del docente frente a experiencias en las cuales los estudiantes obtengan resultados erróneos de sus actividades; que demuestre interés en los mismos y en sus posibles correcciones; que impulse a los alumnos a preguntarse y a resolver el porqué de lo ocurrido; que los estimule a elaborar nuevas técnicas y nuevas alternativas experimentales en fin que los anime y que los haga pensar reflexivamente, tiende a impulsar una educación desarrolladora que supera los planos netamente instrumentales del saber, trasladándose a niveles significativos y relacionales para el estudiante y el propio profesor (Labarrere & Quintanilla, 1999). Con lo cual queda de manifiesto la importancia fundamental del lenguaje, la experiencia, el pensamiento y la cultura en la elaboración de un currículum científico epistemológica y didácticamente fundamentado bajo estas premisas. Este es otro de los principales dilemas que trataré de explicar desde una perspectiva histórica y filosófica.

El dilema del saber científico en la escuela en una aproximación histórica y filosófica: ¿Cómo asumirlo curricularmente?

La manera como a lo largo de los siglos se ha ido construyendo la historia de la ciencia (y con ello su divulgación y enseñanza) es a veces compleja, otras misteriosa, y en algunos casos inexplicablemente controvertida. En este momento, no se sabe absolutamente todo acerca de lo que es un hecho histórico de la ciencia de manera precisa. Hay un momento en que la ciencia es sólo una construcción re-

tórica sin grandes logros, solamente para generar un reconocimiento social. Un ejemplo clarísimo y clásico en Química es el comentario del “nacimiento” de la disciplina. Se dice que la Química “nace con Lavoissier” quien pone en evidencia la Ley de Conservación de la masa al usar la balanza y descartar así los fundamentos del flogisto. Pero sabemos que antes de Lavoissier también se hacía química. Por lo tanto, estas enseñanzas un tanto arbitrarias están desconectadas de la realidad histórica y epistemológica que tiene la ciencia como disciplina y fuente de conocimiento cuando se la comunica (o enseña) a otros individuos que no son o no aspiran a ser particularmente científicos.

Al respecto, la historia de la ciencia como trabajo real del hecho científico es complejo de describir (y más aún de enseñar y aprender). Su justificación se ve muy compleja, difícil. Por ejemplo, si decimos que los átomos existen ¿Cómo lo demostramos? ¿Cómo demuestro su forma? Aquí tenemos ejemplos clarísimos de cómo funcionan los científicos. Fijémonos en esta cuestión. Una frase de Lakatos (1983), nos permite comprender mejor este problema: “La filosofía de la ciencia sin la historia es vacía”. Esto es muy importante porque ¿De qué habla la filosofía si no se fija en lo que hacen los científicos? No habla de nada. ¿Está captando algo esencial del conocimiento, independiente del trabajo de los científicos? La respuesta es no. No hay reglas del conocimiento abstractas, independientes del trabajo que hacen los científicos. Y aquí está el contrapunto: “La historia sin la Filosofía es ciega”. No sabría ver nada del trabajo que están haciendo los científicos. Necesita una reflexión global del trabajo científico para sacar a partir de ahí, ideas generales sobre la construcción del conocimiento. Por tanto, en la enseñanza de contenidos conceptuales y procedimentales hemos de optar (o sumergirnos) en la profunda y eterna diversidad de la construcción del conocimiento humano con todas sus debilidades y fortalezas.

Esta relación entre filosofía e historia es lo que da origen a las teorías actuales de ciencia. Se construyen 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 de la filosofía 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. Los filósofos con ayuda de la historia comienzan a hacer modelos de descubrimiento científico. (Baraona, 1994; Chalmers, 1982, 1992; Estany, 1993b).

El resultado de esta “nueva etapa de las ciencias” es la superación de los modelos de ciencia categóricos o absolutistas tales como el empirismo, el positivismo y el racionalismo radical de fines del siglo 19. Los nuevos enfoques han recibido el nombre *de modelos constructivistas* y consideran los aspectos de justificación y descubrimiento del “saber científico”. Desde el enfoque de la *transposición didáctica* es necesario aclarar brevemente las afirmaciones anteriores, ya que la diferencia entre descubrimiento y justificación de conocimiento podría resultar ambigua. Para Aliberas (1989) los procesos que sigue un alumno (o un profesor) cuando intenta aprender (o enseñar) ciencias no pueden ser diferentes de los procesos que se siguen para justificarla, ya que una y otra cosa se identifican en el proceso de enseñanza-evaluación y aprendizaje. Agrega Aliberas que esta es una de las complicaciones que surgen en los libros de texto, que utilizan lenguajes y argumentaciones que los estudiantes no entienden o que no resultan convincentes. Sin embargo, los mismos lenguajes y argumentaciones formales son útiles en la comunicación científica de los expertos. Por tanto, una de las tareas prioritarias de la didáctica de las ciencias ha de ser transferir al alumno un lenguaje, a través del cual la ciencia le sea intelegible y pueda posteriormente axiomatizar ese lenguaje con la lógica formal propia de la ciencia utilizando incluso su propio lenguaje (Giordan, 1985; Izquierdo, 1993; Aliberas, 1989). En definitiva, las diferentes posturas que han sido consideradas para justificar el saber científico en la historia deberían orientarnos para configurar un currículum de ciencia escolar

o de ciencia enseñable sustentada en determinado modelo de ciencia. En el caso del enfoque CTS debiera darnos luces de cómo distinguir los elementos propiamente “científicos” y aquellos elementos que vinculen la ciencia con la tecnología y la apropiación social y cultural que de ello se derive. Por ejemplo en la enseñanza de la química ¿Qué importancia tiene la minería para Chile? ¿Cuáles han sido las consecuencias histórico-sociales de la industrialización minera en nuestro país? ¿Cómo ha afectado la evolución tecnológica a la producción cuprífera y a la calidad de vida de las personas de las regiones mineras y no mineras de nuestro país? La respuesta a *cómo* desarrollar este *conocimiento científico escolar* desde una visión didáctica y epistemológica pudiera adoptar distintas posturas como veremos a continuación.

a) *Una visión racional y/o empírica de la ciencia*

Esta corriente se sitúa en el plano de la justificación del conocimiento científico. No le interesa cómo se genera o cómo surge. Quienes sustentan esta corriente de pensamiento señalan que el “contexto del descubrimiento es tarea de psicólogos y sociólogos”. En la construcción o reconstrucción de sus teorías científicas seleccionan claramente los “términos o conceptos experimentales” de los “términos o conceptos teóricos”. Tenemos así a los empiristas positivistas que de alguna manera parten de la experimentación pensando que a partir de allí se llegan a configurar las teorías. Por otra parte un grupo de científicos más extremos, en el empirismo más estricto, piensan que se puede prescindir de las teorías, fortaleciendo la idea de que se pueden relacionar los hechos experimentales entre ellos, pero no las teorías. El Círculo de Viena (donde el positivismo lógico surge en las primeras décadas del siglo 20) postula el empirismo lógico que expresa la confluencia de dos tradiciones: el empirismo, en tanto que los juicios no pueden tener otro fundamento que la experiencia, y el racionalismo, en tanto que establece la necesidad de trabajar la ciencia dentro de los límites de la lógica formal. Para los

racionalistas, la distinción entre ciencia y no ciencia es bien clara: para que una disciplina tenga carácter científico, deberá tomar decisiones, rigiéndose solamente por el criterio de racionalidad. (Chalmers, 1993-1992; Bachelard, 1989; Estany, 1993a; Popper, 1992).

En general, los empiristas lógicos plantean un análisis sincrónico del hecho científico, es decir, centrado en un momento concreto de la historia de la comunidad científica, muy puntual y en consecuencia sin carácter evolutivo (¿acaso no es esta ciencia la que enseñamos a nuestros alumnos normativa e instrumentalmente?). Las estructuras generadas así son muy rígidas, acentuando la articulación lógica del saber científico mediante un lenguaje formalizado propio de las matemáticas. En este sentido, la confianza en la matemática es una constante en la Historia (y en la enseñanza) de las Ciencias. Desde Pitágoras hasta Platón existe una confianza permanente en el número para tratar de explicar y representar el mundo y, con ello, darle sentido a la vida y una explicación al origen de las cosas. Para Montserrat & Torrents (1987), Platón asumió el hallazgo del pitagorismo y se dispuso a defenderlo del asalto parmediano. Lo cierto es que los pitagóricos intentaron también justificar a un nivel superior la racionalidad matemática de la naturaleza, pero no dieron con otra solución que la aritmología, o mística numérica. Platón declaró insuficiente el uso del instrumento matemático para explicar la discontinuidad de la realidad, y pasó a convertirlo en objeto de la reflexión científica. Aquí se encontrará la justificación de la llamada *teoría en los experimentos*, es decir, hay una manera de justificar la realidad sobre la base de un modelo de convergencia teórico-empírico con un lenguaje particular. A partir de este momento se sistematiza la filosofía de la ciencia y tiende a dispersarse en Europa y en América. Los resultados del empirismo lógico se transforman en una especie de concepción heredada que es algo con lo cual se comienza de manera muy seria para tratar de explicar y justificar la ciencia (Newton-Smith, 1987; Popper, 1991; Estany, 1993a; Aliberas, 1989).

Comienza entonces un intento muy serio por explicar el conocimiento científico de una manera diferente. Se trata de construir una lógica especial, sobre la base de la lógica que se desarrolla a partir de la segunda mitad del siglo 19 y que es diferente a la lógica aristotélica. Es en esta época donde tiene su auge la lógica matemática. El positivismo lógico es un intento muy serio que pretende configurar la idea básica de que *las ciencias sean como las matemáticas*, es decir, que haya una conexión entre los términos teóricos y los términos empíricos de manera absolutamente trabada, tal que cada término quede relacionado perfectamente a través de un lenguaje sin ambigüedades, similar al lenguaje matemático. De no ser así este conocimiento científico aparece poco serio y riguroso ante la comunidad de científicos y profesores.

Sin embargo este principio de la “formalización matemática de la ciencia experimental” ha fracasado porque no se ha encontrado este tipo de lenguaje sin ambigüedades para la ciencia, similar al lenguaje de los matemáticos. Y no porque el lenguaje de la matemática sea difuso, sino porque es imposible construir un lenguaje lógico en disciplinas que tienen un origen distinto al que tiene la matemática. Esto, como veremos a continuación, impide que, de manera permanente, se conecte la teoría con la práctica de forma unívoca en la ciencia escolar limitando la creatividad de los estudiantes (Labbrière & Quintanilla, 1999).

La línea de conexión entre las dos propuestas: *empirista y racionalista*, mediante un mecanismo hipotético-deductivo que viene de la experimentación, vuelve así, hacia atrás. La reflexión es que “todo está contaminado de teoría”, es decir, todo lo que experimentamos está influenciado previamente por una teoría que tenemos, que es la que nos ha impulsado a hacer ese experimento. Esta observación es muy importante pues es la que nos lleva a la constatación de que no se pueden diferenciar los términos observacionales de los términos teóricos con absoluta exactitud sea cual sea el currículum (o propuesta curricular) que se adopte. En el caso presentado en rela-

ción a la enseñanza del concepto “cobre” ¿Qué es lo observable que se ha de enseñar y aprender en un enfoque CTS? ¿Qué es lo no observable que se ha y no se ha de aprender? ¿Cuáles son los criterios didácticos y epistemológicos para abordarlos en este modelo de ciencia?

Por lo tanto, en esta concepción heredada del positivismo lógico se ha de hablar de ciertas reglas de correspondencia entre los fenómenos propiamente observacionales y las teorías que los sustentan. Hay una estructuración sintáctica con una configuración determinada por axiomas que recogen lo esencial de la teoría en su lenguaje propio y lo conectan con el mundo empírico, con el mundo de los fenómenos, que tiene su propio lenguaje. Estas reglas de correspondencia que plantea el positivismo lógico buscan vincular de una manera más apropiada el mundo de la teoría y el mundo empírico. El problema es que al hacer esto se va viendo que es muy difícil disponer de términos puramente teóricos o de términos puramente observacionales porque los últimos ya están contaminados de teoría desde el principio. Entonces, esta visión no es que sea falsa. Es válida como modelo de teoría. Lo que pasa es que se ve que no funciona en todos los casos. ¿Qué significa que funcione o no funcione este modelo de teoría? Quiere decir que yo puedo y no puedo reconstruir la realidad según la teoría del científico, axiomatizando, algunos principios y distinguiendo lo empírico para encontrar finalmente un modelo de correspondencia. Un ejemplo sencillo lo podemos ver reflejado en la *Teoría de los Gases*. “Sabemos”, porque así lo hemos construido particularmente como modelo, que “existen” gases ideales y gases reales. Podemos conectar ambos modelos a través de la llamada Ecuación de Estado donde: $P V = n R T$.

P: Presión; V: Volumen; n: moles por litro; R: Constante; T: Temperatura

Ya sea igualando presiones, igualando volúmenes o bien temperaturas en un sistema centígrado o en un sistema kelviniano, podemos llegar a una suerte de modelo que nos permite explicar en gran medida el “comportamiento” de cierto tipo de materia llamada “gas”.

Sin embargo, este modelo no funciona siempre. Las teorías que no pueden ser reconstruidas así, no son teorías científicas, ya que una teoría científica para considerarse como tal ha de ser axiomatizada según este modelo (Astolfi, 1988; Estany, 1993a; Izquierdo, 1995a). Históricamente, en la aplicabilidad, eran tantos los problemas y explicaciones que quedaban fuera de esta interpretación, que ninguna teoría se podía reconstruir al ciento por ciento de esta forma. Esto significaba que de alguna manera, la diferenciación estricta entre términos observacionales y términos teóricos no era ni es posible. Es, a partir de los años cuarenta y cincuenta 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. Uno de los elementos que apoyará esta reflexión es el *fenómeno del lenguaje* a través de la Pragmática de la lengua, que tiene un contexto social, político, cultural e histórico. (Llorens *et al.*, 1989) Esto explicaría en parte los usos, desusos y abusos lingüísticos en la construcción de un determinado modelo de ciencia y el hecho de que el lenguaje se nos escapa de las manos constantemente. Todavía somos “herederos” de la concepción positivista lógica. Le damos a los axiomas valores muy grandes y cuando nos ponemos a enseñar nos parece que lo más importante es saber los axiomas “...ya que las leyes de correspondencia vendrán luego...” ¿Acaso no es este modelo el que persiste en nuestras clases de ciencias experimentales y de matemáticas especialmente? En consecuencia, los programas de racionalidad fuerte, es decir, de una vía segura para vincular lo experimental con el mundo de las ideas o dicho de otra manera, de la identificación de la ciencia con la matemática fracasan, no se pueden aplicar. Además, los científicos no realizan ciencia para falsear sus propias teorías del conocimiento que están construyendo y la escuela como institución difícilmente acepta la provisionalidad del saber.

b) *El falsacionismo Popperiano o racionalismo deductivo*

Carl Popper (1995) nacido en Viena, Austria, en 1902, es reconocido como uno de los filósofos más importantes de la ciencia con-

temporánea. Se ocupó del trabajo real de los científicos. De alguna manera dedicó los últimos años de su vida al “Círculo de Viena”. Por lo tanto, estuvo muy informado de las cuestiones que estamos planteando. Su posición, conocida a veces como *racionalismo deductivo*, está basada en el empleo sistemático del método hipotético-deductivo como instrumento de progreso del conocimiento científico. Lo que pasa es que Popper también formula un modelo de ciencia, un modelo de cambio científico. Propone un modelo de construcción de la ciencia sobre la base del constructivismo, y por lo tanto actualiza otra manera de interesarse por el fenómeno de la ciencia, enfatizando sus ideas en las ideas del contexto del descubrimiento, no tanto ya en la justificación del modelo propiamente tal. Su obra significa un avance significativo respecto al empirismo lógico radical. Reconoce la necesidad de las teorías más que de las observaciones indicando que las teorías científicas son convencionales.

Desde el momento del fracaso del empirismo lógico, las teorías cada vez son más importantes para la filosofía de la ciencia. Popper agrega que las Teorías son conjeturas que deben ser falseadas y se han de poner a prueba para observar su validez y confiabilidad, aun cuando este método resulte un tanto absurdo, porque los científicos (y los profesores) no trabajan así en la realidad, es decir no están falseando sus ideas hipotéticas a cada momento. A diferencia de los empiristas, Popper se interesa por la evolución del pensamiento científico, insistiendo en el poder explicativo de la lógica. Renuncia a justificar las teorías a partir de los fenómenos observables, por métodos inductivos. En consecuencia, la racionalidad identificada con la lógica se nos escapa de las manos. ¿Entonces como se puede probar? Se puede probar de la forma como lo ha manifestado Popper, diciendo: “... yo puedo inventar lo que quiera pero ahora he de contrastarlo...” (Popper, 1992). Esto podría ser un procedimiento racional porque ya no surgiría el peligro de no poder relacionar lo empírico con lo teórico. Como la teoría es un producto de la mente y lo contraste con el mundo. En este sentido y aplicando la fundamentación didáctica resulta difícil que un alumno renuncie a pensar que “un

ácido es fuerte porque disuelve rápidamente un metal como el cobre”. Aunque en esta denotación del lenguaje de las ciencias el concepto físico de fuerza no puede ser falseado desde el punto de vista químico, en un enfoque CTS al menos como lo plantea Popper.

Sin embargo, el planteamiento de Popper habla de una cosa, que no se refiere al cómo trabajan los científicos. Está imponiendo un modelo desconectado de la realidad, simplemente porque no se puede justificar lo contrario, es decir, que de los experimentos deriven las teorías. Como no puede justificarlo impone otra cuestión. Pero con esto ¿Qué tenemos? ¿Es esto racional realmente? Pues la respuesta es, nuevamente, no. Porque no es justamente eso lo que la ciencia pretende. La ciencia pretende explicar al mundo y por lo tanto ha de haber un mecanismo entre el mundo y la ciencia que no sea tan artificial como este intento de falsear siempre todo lo que estamos diciendo. En razón de lo cual, este modelo de racionalidad fuerte que propone Popper, pareciera ser que no es el más correcto en lo que a la explicación, enseñanza, aprendizaje y evaluación de la ciencia escolar se refiere (Arca *et al.*, 1990; Bachelard, 1989; Estany, 1993b; Izquierdo, 1990; Popper, 1992) ¿Podemos falsear la medición de un concepto físico cada vez que lo enseñemos? ¿Esta falsación contribuye a la construcción de conocimiento científico en la escuela tal y cómo lo plantea Popper?

c) *La ciencia instrumental o instrumentalismo*

La concepción que se opone al realismo es llamada por Chalmers (1992-1993) *instrumentalismo* y *antirealismo* por Giere (1988, 1991). Estos investigadores asumen que las teorías no se proponen la descripción del mundo sino que sólo han de concebirse “como instrumentos” para relacionar los fenómenos entre sí. Uno de los representantes de esta línea de pensamiento es Laudan (1986) que fue incorporado a la didáctica a través de su concepción de la ciencia como resolución de problemas: ¿Qué significa esto? La Ciencia es resolución de problemas y nada más. La visión de Laudan (dentro de un

currículum epistemológicamente fundamentado) es una postura instrumentalista. Con esto quiere decir que la ciencia sabe cómo resolver un problema pero no necesariamente le da una interpretación o un significado al mundo. El objetivo de la ciencia consiste en obtener teorías con una elevada efectividad y precisión en la resolución de problemas. Desde esta perspectiva, la ciencia progresa sólo si las teorías sucesivas resuelven más problemas que sus predecesoras (Laudan, 1986; Chalmers, 1992; Estany, 1993b). El instrumentalismo lleva también normalmente una idea de verdad, pero de forma más restringida. Las descripciones del mundo observable serán verdaderas o falsas según lo describan o no correctamente. Sin embargo las construcciones teóricas, que están destinadas a darnos un control instrumental del mundo, no serán juzgadas por su verdad o falsedad sino por su utilidad como instrumentos en la medida que resuelvan cada vez mayores problemas (Chalmers, 1992). Según estos principios, resulta difícil explicar cómo las teorías pueden predecir hechos inesperados, si no tienen un significado real y cómo un alumno que aprende por ejemplo las leyes de Mendel sólo se quede en el nivel instrumental (u operativo), es decir de la resolución del problema sin interpretar la variabilidad genética como proceso me atrevo a decir biocultural; o bien en el ejemplo inicial que hemos presentado pensando que el cobre soluciona problemas cotidianos “tan simples” como la electricidad.

d) *La ciencia vista como Programas de Investigación*

Por su parte Lakatos (1983) señala una situación diferente, indicando que los científicos trabajan en Programas de Investigación y lo que hacen es defender el núcleo duro de la teoría que tienen en determinado ámbito del saber científico. Manifiestan muchos mecanismos y estrategias para defender la teoría cuando aparece un hecho que la contradice parcial o totalmente, ya sea para anular este hecho o modificar un poco la teoría agregando el “hecho nuevo” de manera que este nuevo hecho se incorpore a la teoría ya existente “sin mayo-

res alteraciones”. Lo que significa que hay un cinturón conector del núcleo fuerte de la teoría y esto funciona en un Programa de Investigación de manera que pueden haber diversos programas y, dentro de ellos, es donde se “*tuercen*” los criterios de justificación de la ciencia (y con ello una visión reduccionista de su enseñanza). Esto significa que la ciencia ya no es una cuestión exclusivamente de lógica, según las leyes del positivismo de comienzos de siglo, sino que se configura en función de las ideas en común que tienen los científicos, justificando “dentro” del programa, las ideas que le dan validez y confiabilidad a su modelo (Izquierdo, 1990; Chalmers, 1992; Estany, 1993b, Aliberas, 1989). Lakatos escribió sus más influyentes artículos, particularmente, cuando “La estructura de las revoluciones científicas” de Kuhn (1977) había causado suficiente impacto y diferentes interpretaciones. Lakatos comparte con Popper la idea de que hay que construir una epistemología normativa, pero reconoce que tanto el inductivismo como el falsacionismo fracasan en su intento de encuadrar la actividad científica. Por ello la unidad de falsación no puede ser la teoría aislada, sino la sucesión de teorías que forman un programa de investigación. Esto significa que en una sucesión de teorías existen cambios de problemas teóricamente progresivos, si existe un exceso de contenido empírico respecto a la fase anterior. El cambio de problemas es además empíricamente progresivo cuando el excedente de contenido está corroborado por la comunidad científica que defiende ese núcleo teórico conector. El programa de investigación está caracterizado por la heurística negativa y la heurística positiva. La heurística negativa determina el núcleo firme del programa de investigación, que se considera irrefutable por una convención implícita. En lugar de proceder a su refutación, la investigación científica construye un cinturón protector alrededor del núcleo, que contiene hipótesis auxiliares que lo defienden de la falsación. La heurística positiva proporciona la dirección de la investigación dentro del programa al dar normas metodológicas e instrumentales para modificar el cinturón protector (Lakatos, 1983; Chalmers, 1992-1993; Estany, 1993a; Aliberas, 1989). ¿Podríamos enseñar química en la

escuela bajo estos principios en un enfoque CTS? No creo tener respuesta a esta pregunta.

e) *El Paradigma discontinuo de Khun y el Evolucionismo Toulminiano*

Los representantes de esta línea de pensamiento critican el carácter irrelevante del empirismo ya que, según ellos, no explica “el qué del hecho” científico. En este sentido se centran en el contexto del descubrimiento. Según estos investigadores resulta difícil encontrar respuestas concretas a un hecho particular, histórico de la ciencia. Concentran su análisis en la historia más que en una evaluación lógica para comprender cómo trabaja y avanza la ciencia. Introducen así una visión evolutiva o diacrónica del saber científico. El principal defensor de estos postulados es Khun (1977) quien plantea la idea básica de que *la ciencia no crece acumulativamente*. El concepto central de Khun es el de paradigma, planteando que debe considerarse el saber científico como un *paradigma discontinuo*. Esto, sin embargo, se transforma en una cuestión muy subjetiva. Plantea que habrían cambios de paradigmas que no se sabe cómo aparecen o cómo desaparecen, lo que él denomina “Revoluciones Científicas”. Esta idea de la naturaleza de la ciencia es poco práctica en el momento de reconstruirla sin perder de vista la posibilidad de caer en la *irracionalidad*. Porque si Khun dice que un mismo experimento visto desde una teoría o visto desde otra se puede justificar de la misma manera ¿Cómo sabemos que una teoría es mejor que la otra si las dos justifican lo mismo desde el punto de vista de la enseñanza de las ciencias? (Izquierdo, 1995a). Por ejemplo. ¿qué teoría es mejor para enseñar “ácido-base”? ¿Cómo puedo establecer los criterios didácticos para seleccionar (si es que la hubiera) la mejor teoría?

La Historia nos demuestra que los científicos se quedan con una teoría y no con la otra. En definitiva, actúan por presiones sociales porque la justificación de la Teoría por los experimentos no se da. También este fundamento surge en parte de las posibilidades de aná-

lisis que plantea Khun. Mientras que Khun considera que los conceptos, teorías, y procedimientos de una ciencia normalmente son estables y ocasionalmente cambian radicalmente, Toulmin (1977) piensa que todos ellos, están en *evolución constante*, sufriendo pequeños cambios. Su análisis toma como referencia la Teoría de la Evolución de Charles Darwin. Según Toulmin, los conceptos, procedimientos y teorías de toda ciencia, “funcionan” de manera parecida a los individuos de un sistema biológico, es decir, están sometidos a las “leyes de selección natural”, a una dinámica de constante cambio y renovación. ¿Qué pasa con las ideas del alumno cuando sistematiza una “experiencia” de manipulación de objetos formados o que funcionan debido a la presencia material del cobre?

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. Así se introduce el concepto de “evolución conceptual o de esquemas conceptuales” que de un modo similar podemos darle una explicación didáctica, ya que la permanente evolución de los conceptos científicos es similar al continuo cambio de las ideas que nuestros alumnos tienen sobre la ciencia, su método y su naturaleza. Toulmin critica a Kuhn el abandono de la racionalidad científica en el momento clave de la reflexión y también la noción de revolución como una etapa de cambio distintiva de su modelo de progresión. Por ejemplo, el concepto de afinidad eléctrica que hoy enseñamos en la escuela no es el mismo concepto de afinidad que se enseñaba y divulgaba en el renacimiento ¿Qué enseño entonces? ¿Para qué?

f) *La visión relativista de la ciencia*

El relativismo niega de hecho la existencia de criterios universales para explicar la ciencia (Chalmers, 1992-1993). Representantes de esta postura como Feyerabend cree que la ciencia no es superior a otras formas de pensamiento (Feyerabend, 1981, 1982) llegando a afirmar que “todo vale” proponiendo incluso un cierto “status de igual-

dad” para la ciencia tanto como para el mito. En el contexto relativista la astrología sería una disciplina científica. En consecuencia, para los relativistas la ciencia no tiene método que le permita tomar decisiones y avanzar en el conocimiento. Señala Feyerabend que el científico debe ser absolutamente libre en la creación y explicación de la ciencia y sus significados llevados al mundo. En este sentido el “concepto de cobre” en una clase de arte (por ejemplo grabados, esculturas) ¿Ha de tener el mismo sentido y significado “científico” que en una clase de química? ¿Cómo vincular la terminología de las ciencias al mundo artístico sin caer en una ambivalencia en la construcción de conocimientos por parte del alumno?; o bien ¿es necesaria esta ambivalencia?

Sin entrar a profundizar, ni a fundamentar un apoyo a esta postura, se comprende que surja como consecuencia de la crisis de aquellas escuelas de pensamiento indudablemente cuestionadas: la ciencia como la portadora de la verdad; la neutralidad y objetividad del científico; la desconexión de la ciencia con la vida y, consecuentemente, la responsabilidad social que se le atribuye al conocimiento científico. Esto, por un lado, validó la investigación científica y tecnológica, ajena a las implicaciones que pudieran traer para la sociedad. Por otro lado, elevó a los científicos como una suerte de casta de “cerebros privilegiados” capaces de saber y decidir sobre lo que “la gente común no lograbamos entender”.

g) *Los modelos cognitivos de ciencia*

Aunque no se pueda justificar, se ha de aceptar un cierto Principio de Inducción para comprender el significado de la ciencia y la configuración de un modelo más cercano a la ciencia que enseñamos en la Escuela o “Ciencia Escolar”. Actualmente, la Ciencia Cognitiva nos resuelve en parte este problema. Esto significa que tanto la psicología, la neurociencia, la lingüística, la sociología, la antropología y la filosofía de la ciencia han de intentar de explicar cómo funciona y se genera el conocimiento científico humano en la mente de las

personas. En esta postura, las ciencias son vistas como empresas profundamente humanas: su objetivo es interpretar el mundo utilizando para eso la capacidad que tenemos de emitir juicios. Esto lleva a desdibujar las fronteras entre el pensamiento científico y cotidiano y da lugar a nuevos modelos de ciencia (Copello, 1995; Pozo, 1996). Aquí está el núcleo de una ciencia escolar y el fundamento de nuestras próximas reflexiones.

La ciencia sería, en este contexto, una actividad humana más que contribuye a la génesis del conocimiento. La línea cognitiva fundamenta su modelo en el carácter estático y dinámico del conocimiento científico. Por lo tanto, la interpretación y explicación de la ciencia ha de contribuir a la convergencia de los conceptos que históricamente han estado en “tensión”: el descubrimiento y la justificación del hecho científico que ya hemos venido analizando anteriormente. Los científicos cognitivos cuestionan la filosofía clásica, por configurar ideales de ciencia con los cuales los científicos no trabajan y en consecuencia, con los que no se sienten identificados. Toman así, distancia de la filosofía y la sociología, intentando establecer una disciplina sin otra finalidad que la de explicar la ciencia como construcción humana en permanente cambio. En esta modelización de la ciencia y su naturaleza aparecen dos miradas del fenómeno cognitivo de la ciencia y su aprendizaje: el naturalismo y los modelos mentales.

g.1. El Realismo Pragmático o Naturalismo

Para las concepciones realistas de ciencia, las teorías científicas describen como es realmente el mundo. Esto significa que en el mundo “hay cosas, entes, que se pueden caracterizar por sus propiedades, estructura y función: sustancias, animales, vegetales, tipos de energía, etc.,. Según este principio las teorías son descripciones verdaderas de lo que pasa en el mundo real. Es una postura mucho más estimulante en el análisis e interpretación de los hechos y las teorías. Su principal dificultad es que dos teorías pueden dar explicaciones o

interpretaciones equivalentes de un fenómeno, provocando la duda de cual de las dos interpretaciones realizadas es “más real”. En este sentido Chalmers (1992-1993) plantea lo que llama el realismo no representativo, asumiendo que las teorías científicas tienen determinadas finalidades y representan ciertos aspectos particulares del mundo y no otros. En consecuencia, en un enfoque CTS debieramos “respetar” todas y cada una de las explicaciones que el alumnado diera en relación a tal o cuál fenómeno. El punto central es llegar a modelizar estas explicaciones para darle coherencia, consistencia y robustez a las representaciones de los alumnos de tal manera que, conscientes de la interpretación que hacen de los fenómenos puedan modificar paulatinamente esas ideas con más y mejor información en un proceso de desarrollo que va desde lo instrumental operativo a lo relacional significativo

En este sentido el *Naturalismo* no acepta el racionalismo ni tampoco la formulación relativista planteada por Feyerabend. Afirma que la selección de teorías se realiza mediante un proceso complejo que incluye la interacción social, cultural y el juicio personal (Giere, 1988, 1994). Se plantea así la racionalidad como instrumental en tanto cuanto se puede manifestar en diversos grados dependiendo del contexto y las variables que se estudien. Las leyes no serían, entonces, generalizaciones empíricas bien confirmadas, sino que dependerían del juicio del científico y del contexto en el que se analiza la ley. Se opone así a la concepción clásica de racionalidad categórica, que no admite la valoración del juicio científico en la toma de decisiones. En una concepción naturalista de la ciencia, existe una constante aproximación a la verdad, que es parte de la esencia misma de la actividad científica. Por lo tanto el enfoque CTS ha de poner su atención en la experiencia, cultura, lenguaje y pensamiento de los estudiantes como un proceso de desarrollo que no comienza ni termina en la escuela.

El modelo cognitivo de ciencia se ajusta muy bien al modelo de ciencia que enseñamos. Giere (1992) utiliza este modelo para la ciencia de los científicos. proponiendo que para saber como es una teoría

científica, es necesario saber cómo la utilizan, de hecho, los científicos. De esta manera, analiza como aparecen las teorías en los libros de texto especializados y cómo usan de ellas los científicos en sus discusiones y contextos específicos (Izquierdo, 1995c). Califica su postura como realismo naturalista o realismo pragmático. Es realista al considerar que la ciencia intenta representar e interpretar el mundo con determinadas ideas. Es 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 y como lo plantean los positivistas. Esta sería, por así decirlo, la novedad epistemológica de este modelo. Nosotros apropiamos estas orientaciones para una propuesta de la Enseñanza de las Ciencias, basada en el “fenómeno cognitivo humano”. Los planteamientos de este modelo permiten así, más o menos “entrar” en la ciencia del aula. Entre sus postulados podemos destacar que:

1. El mundo se interpreta con teorías.
2. El método de interpretación es evolutivo y natural y por lo tanto muy diverso.
3. El modelo y su interpretación han de tener un “sentido humano”.

Giere da un lugar preferencial a lo que llama Modelos Teóricos. La idea central del modelo teórico, según este investigador, 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 los vinculan, teniendo como unidad estructural los conceptos científicos que actúan como “mapas internos del mundo externo”. La principal diferencia sería que las representaciones científicas utilizan un lenguaje axiomatizado y las representaciones cotidianas no.

Los modelos teóricos son, en esta concepción, los medios a través de los cuales los científicos representan el mundo, tanto para sí mismos 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. En este contexto, ciertas estrategias científicas (o didácticas) pueden ser calificadas cognitivamente de eficaces o ineficaces, oportunas, pertinentes o apropiadas en un enfoque CTS. En diversos estudios relacionados con las actuales tendencias de enseñanza de las ciencias, estas reflexiones en el marco instrumental y operativo del enfoque CTS son imprescindibles de realizar (Caamaño, 1988-1995).

En definitiva, la selección de una teoría concreta asume el oportuno y prudente juicio de quien construye la ciencia. Los modelos cognitivos de ciencia son modelos de racionalidad moderada, llamados también de racionalismo moderado o contextualizado, que se encuentra como fundamento a la propuesta didáctica constructivista (Izquierdo, 1995b). No podemos desconocer la importancia del componente teórico en la enseñanza de las ciencias. Por desconocerlo podemos llegar en más de un momento a un “activismo” que puede resultar motivador para los alumnos, pero en verdad eso no es enseñanza científica (Izquierdo, 1992, 1994, 1995). En el otro extremo, trabajar los componentes teóricos, desde una ciencia axiomatizada, desvinculada del mundo real, tampoco es hacer ciencia; y en este caso, no es ni siquiera motivador para los estudiantes (Claxton, 1994; Quiroz, 1991; Kempa, 1991).

La teoría de los modelos de Giere puede encontrar un camino apropiado y educativo para la transposición del saber, que parece ser muy interesante y prometedor para enfrentar el proceso de enseñanza de ciencias en un enfoque CTS ya que permite establecer prudentes conexiones entre los modelos teóricos (el mundo de las ideas), y el sistema real (trabajo experimental, manipulación de lo real) de los alumnos, profesores y científicos, buscando establecer similitudes a través de las hipótesis teóricas que son entidades lingüísticas que los relacionan (Llorens, 1987; Copello, 1995; Sanmartí y Jorba, 1995). De esta forma, se piensa, se hace y se expresa la ciencia conectando permanentemente estos tres elementos sin separar la teoría de lo

empírico ya que asumimos la elaboración de modelos teóricos tanto de los fenómenos con que estamos trabajando (modelo fenomenológico); de los instrumentos que estamos usando (modelo instrumental) y de nuestra intervención sobre el mundo real (modelo cotidiano).

Uno de los elementos interesantes que postula este modelo de ciencia es el “*Racionalismo hipotético*”, que significa que si yo tengo una meta, voy hacia ella planteando cómo hacerlo “en el camino”. En definitiva, las comunidades científicas y las personas saben valorar si se acercan bien o mal a la meta sobre la base de una “construcción en común de un hecho paradigmático” y de la interpretación del mismo sobre la base de “diferentes miradas” del mismo fenómeno (diversidad de explicaciones científicas en el alumnado). En este sentido, el estudio de cómo funciona una comunidad, cuáles son los “criterios de racionalidad”, etc, nos acercan a una “*Racionalidad Moderada*”, para comprender la ciencia que enseñamos. Existirían, eso sí, algunas variaciones en la medida que se intenta explicar el conocimiento científico (Izquierdo, 1992). Estas reflexiones nos llevan al concepto de modelos mentales, que analizaremos a continuación.

g.2. Los Modelos Mentales

Para aclarar la concepción de modelo mental diríamos que cuando las personas interaccionan entre sí, con el medio ambiente, con artefactos tecnológicos, se forman modelos mentales internos acerca de ellos mismos, de los otros y de las cosas con que interaccionan. Estos modelos poseen el suficiente valor explicativo y predictivo como para que los sujetos puedan comprender esa interacción y funcionar con sus propios modelos de la realidad que pueden ser distintos para otra persona en similares condiciones (Gutiérrez, 1994).

De la misma manera que imaginamos nuestra vida ordinaria, los modelos teóricos forman parte del mundo imaginado, es decir, sólo existen en las mentes de los científicos o como materia abstracta de

las descripciones verbales escritas por ellos mismos en determinadas circunstancias. Estos modelos funcionan como “representaciones imaginarias” de la vida cotidiana en uno de los sentidos más generales que actualmente tiene la palabra modelo en la psicología cognitiva. (Por ejemplo la representación de una mina de cobre sin haberla visitado jamás sobrepasa el mundo de las imágenes audiovisuales o de los libros de texto). La investigación sobre modelos mentales surge a partir de la convergencia entre los modelos de la psicología cognitiva y los resultados obtenidos en el campo de la inteligencia artificial, proponiéndose desarrollar teorías sobre cómo comprendemos el mundo (Gutiérrez, 1994; Pozo, 1987). No se consideran modelos técnicamente acabados, sino que en continua evolución, debido a que la interacción con el mundo tiene por objetivo la superación progresiva del modelo (Aliberas, 1989b; Gutiérrez, 1990).

Los modelos mentales no necesariamente contienen una “traducción” de todos los elementos de la realidad debido a la naturaleza intersubjetiva e intrasubjetiva de su origen. Su contenido depende de las cuestiones que el “estudiante” quiera o esté preparado para contestar acerca de determinadas cuestiones de la realidad, ya que cuando los alumnos llegan al aula y se les empiezan a explicar, ya saben de estas explicaciones mucho más de lo que se supone y que nadie se las ha contado nunca, porque ese conocimiento sobre lo que les van a hablar, lo han construido espontáneamente. Por lo menos parece que hay cantidad de situaciones en las que ese conocimiento esté construido espontáneamente por los alumnos y que se superpone o se opone o condiciona la comprensión de lo que el profesor les va a explicar, es el célebre tema de los preconceptos o de las ideas previas de los estudiantes (Carretero, 1987; Cosgrove, 1985; Driver, 1986; Sanmartí, 1995). Por lo tanto, el problema en definitiva se centra en el cómo se piensa, en el cómo se aprende. Por ejemplo, ¿cómo se articula un pensamiento de manera que me influya en la entrada de mis propios conocimientos? Si no esto no sería nada interesante. De esto se sabe muchas cosas, pero comparado con lo que queda por saber, diríamos que no se sabe nada.

La ciencia cognitiva ha trabajado en la modelización del pensamiento de sentido común. Porque todos sus investigadores están empeñados en la idea de hacer *máquinas inteligentes*. Trabajan en equipo para diseñar máquinas que funcionen con pensamiento de sentido común. Que las máquinas funcionen con pensamiento científico es un asunto trivial desde el punto de vista de la introducción del contenido en la máquina, pero el pensamiento del sentido común no se sabe cómo se logra y hay muchísima investigación para ver cómo se consigue. Están investigando en el tema del sentido común para incorporarlo a la máquina y los didáctas estamos trabajando en el pensamiento del sentido común a ver si conseguimos que los alumnos aprendan mejor a construir el conocimiento científico. Ellos, para hacer de sus máquinas “algo inteligente”, nosotros para hacer que nuestros alumnos sean más inteligentes.

Podemos afirmar que, en general, la ciencia cognitiva opera con una metáfora del funcionamiento de la mente similar a cómo funciona como un computador. Es decir, yo opero influido por lo que ya conozco de la realidad, de manera que lo cuál yo sé, como diría Ausubel (1985), influye en lo que voy a aprender, en el conocimiento nuevo. Y esto es un dato empírico. Lo que yo conozco me influye en lo que voy a conocer. Y aquí se sitúa plenamente el tema de las ideas previas. El problema que estos investigadores tienen y tenemos nosotros es el de las ideas previas y el de las máquinas inteligentes. La idea es: “Hacer que la máquina funcione de manera que pueda ver en la realidad determinadas cosas. A ellos les interesa la relación que hay entre este almacén de memoria y lo que la máquina “ve”. Nosotros, entre lo que el alumno ya sabe de ciencias y lo que yo le voy a enseñar. Esto debe ser modelizado, ya sea para que la máquina funcione, o bien para que “nos funcione mejor” el alumno.

Los modelos cognitivos de ciencia refuerzan la idea de que deben converger los esquemas de pensamiento cotidiano con los esquemas de pensamiento científico que van elaborando paulatinamente los alumnos a través de distintas conexiones de significatividad en el

proceso de enseñanza-aprendizaje. Este proceso asume el desarrollo de las representaciones del sujeto como una situación vinculada a la realidad, historia y cultura del sujeto que aprende; en consecuencia, resulta una propuesta interesante para vincular el conocimiento humano de manera integrada como un modelo dinámico que se transforma permanentemente. Al respecto, aún queda mucho por reflexionar y construir en la enseñanza de las ciencias.

Conclusiones o principales interrogantes para la elaboración de un currículo de enseñanza de las ciencias bajo las orientaciones CTS

Me parece que los principales dilemas que he presentado sobre la base de la construcción de la ciencia, su naturaleza y su enseñanza podrían abordarse o reflexionarse a partir de las siguientes conclusiones e interrogantes:

1. El profesor ha de optar por un modelo de ciencia que conscientemente oriente la construcción del conocimiento científico de sus estudiantes. Este modelo de ciencia tendrá su lógica subyacente y deberá ser explicitada por el profesor. ¿Cómo se ha de discriminar esa lógica? ¿Bajo qué criterios “científicos” o “didácticos” podemos entonces seleccionar los contenidos más apropiados en un enfoque CTS?
2. Se podrá optar por uno o más modelos de enseñanza de las ciencias debidamente fundamentados que sea(n) coherente(s) con el tipo particular de contenido que se quiere transponer en el aula ¿Cómo seleccionar dichos contenidos y actividades para desarrollarlos en los alumnos y con los alumnos?
3. Los modelos de evaluación de los aprendizajes científicos tendrán que ser coherentes con los modelos de ciencia y de enseñanza de las ciencias que se adopten. Estas “decisiones” deberán tener consistencia, rigurosidad y relevancia. ¿Qué modelo de evaluación es el más adecuado a la ciencia que queremos enseñar en un enfoque CTS?

4. Se dará especial importancia al lenguaje y a los procesos de comunicación de significados científicos entre el profesor, la disciplina transpuesta y los aprendices que de ella se representan los alumnos y el profesor. Entendido el lenguaje en una perspectiva de discursividad dinámica, evolutiva y en consecuencia cambiante. ¿Cómo construir “lenguajes comunes” entre el profesor y el alumno?
5. Los recursos, medios e instrumentos de aprendizaje de las ciencias en un enfoque CTS deberán “pensarse teóricamente” sobre la base de un modelo de acción, un modelo de pensamiento y un modelo de instrumento. Tales modelos deberán contextualizarse siempre que el modelo de ciencia lo permita. ¿Cuáles serán los criterios que deberán operar en torno a los medios e instrumentos?
6. Las actividades de aprendizaje son parte de un proceso de sistematización que está regido por un ciclo o un organizador, cuya secuenciación, jerarquía o estructuración es coherente con el modelo de enseñanza de las ciencias propuesto. En un enfoque CTS ¿Qué tipo de actividades seleccionar para que este ciclo sea evolutivo y significativo en los estudiantes?
7. Las clases de ciencia, bajo el modelo epistemológico y didáctico pertinente que se adopte, deberán transformarse en un espacio de investigación-acción para el maestro de tal manera que enseñar ciencias sea a la vez una forma de reconstruir significados y potenciarlos según la visión epistemológica y didáctica adoptada. ¿Cómo enseñar a pensar científicamente al profesor y a los alumnos bajo estas premisas en un enfoque CTS?
8. Las opciones anteriores pasan o están condicionadas y determinadas a submodelos teóricos o materiales que le darán mayor robustez a los modelos construidos, tales como un modelo de creatividad, un modelo de inteligencia o un modelo de desarrollo del talento en la enseñanza de las ciencias. ¿Qué criterios nos permitirán optar por uno u otro modelo?

9. Finalmente, recordar que no estamos formando científicos, sino que personas científicamente alfabetizadas, por lo que las decisiones curriculares que adoptemos indubitablemente deberán replantearse cada vez que sea necesario.

Bibliografía

- Aliberas, J.; Gutiérrez. R.; Izquierdo, M.** (1989). Modelos de aprendizaje en la didáctica de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 9, 17-24.
- Arca, M.; Guidoni P. y Mazoli, P.** (1990). *Enseñar Ciencia*, Barcelona, Paidós.
- Astolfi, J.** (1988). El aprendizaje de conceptos científicos: aspectos epistemológicos, cognitivos y lingüísticos. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 147-155.
- Ausubel, D.** (1985). *Psicología Educativa*. Ed.Trillas, México.
- Bachelard, G.** (1989). *La formación del espíritu científico*, Siglo 21, Argentina, Editores.
- Baraona, J.** (1994). *Ciencia e Historia*, Editorial SEC, Universidad de Valencia, España.
- Caamaño, A.** (1988). Tendencias actuales en el currículo de ciencias, *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 265-277.
- Caamaño, A.** (1995). La Educación CTS: una necesidad en el nuevo currículo de Ciencias. *Revista Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, N° 3, p. 4-6.
- Carretero, M. y García, J.** (1987). *Lecturas de Psicología del Pensamiento*. Editorial Alianza, Madrid, *Revista Infancia y Aprendizaje*, N° 38, 46 y siguientes.
- Chalmers, A.** (1993). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*, Madrid, Siglo 21.
- Chalmers, A.** (1992). *La Ciencia y cómo se elabora*, Ed. Siglo XXI, Madrid.
- Claxton, G.** (1994). *Educación de mentes curiosas*, Editorial Aprendizaje Visor, Madrid.

- Copello De Levy, M.I.** (1995). *La interacción maestra-alumnado en el aula: dilemas sobre acciones favorecedoras del acercamiento entre los significados en relación a contenidos en ciencias naturales* (Tesis de Master no publicada). Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- Cosgrove, M. y Osborne, R.** (1985). Modelos didácticos para cambiar las ideas de los alumnos. En R. Osborne y P. Freyberg. *Learning in Science. The implications of Children's Science*. Nueva Zelanda: Heinemann Publishers. (Trad. cast. *El aprendizaje de las Ciencias. Implicaciones de la Ciencia de los alumnos*. Narcea, 1991).
- Driver, R. y al.** (1985). Más allá de las apariencias: la conservación de la materia en las transformaciones físicas y químicas. En R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien. *Children's ideas in Science*. Glasgow: Open University. (Trad. cast. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata, 1989).
- Driver, R.** (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Revista Enseñanza de las ciencias*, 4 (1), 3-15.
- Estany, A.** (1993a). *Modelos de Cambio Científico*, Ed. Crítica, Barcelona.
- Estany, A.** (1993b). *Introducción a la Filosofía de la Ciencia*, Ed. Crítica, Barcelona.
- Feyerabend, P.** (1981). *Tratado contra el método*, Madrid: Tecnos.
- Feyerabend, P.** (1982). *La ciencia en una sociedad libre*, Madrid, Siglo 21.
- Giere, R.** (1988)., *Explaining science. A cognitive approach*, Chicago: University of Chicago Press. (Trad. cast. *La explicación de la ciencia: un acercamiento cognoscitivo*, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México, 1992).
- Giere, R.** (1991). *Understanding Scientific Reasoning*, Holt, Rinehart, Winston: Chicago.
- Giere, R.** (1992). What the cognitive study of science is not? In: *Cognitive Models of Science*, Ed. R. Giere, págs. 481-484.
- Giere, R.** (1994). The cognitive structure of scientific theories, *Philosophy of Science*, 61, pp. 276-296.
- Giordan, A.** (1985). Representaciones sobre la utilización didáctica de las representaciones. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), 53-62.

- Gutiérrez, R.** (1989). Psicología y Aprendizaje de las ciencias. El Modelo de Gagné. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), 147-157.
- Gutiérrez, R.** (1990). *Aportaciones de la investigación en inteligencia artificial a la investigación didáctica: el modelo mental mecánico de Kleer y Brown*. Aspectos Didácticos de Física y Química (Física 4). ICE de la Universidad de Zaragoza.
- Gutiérrez, R.** (1994). *Coherencia del pensamiento espontáneo y causalidad. El caso de la dinámica elemental*, Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona. Sin publicar.
- Izquierdo, M.** (1990). Bases epistemológicas del currículum de ciencias. *Educar*, 17, 69-90.
- Izquierdo, M.** (1992). Reconsidering the sciences currículum starting from contemporary (converging) models of science and cognition. In: *History & Philosophie of Science in Science Education*, S. Hills, Ed., 517-529.
- Izquierdo, M. y Márquez, C.** (1993). *The use of theoretical models in science teaching. The paradigmatic facts*. In: "Third International Seminar", Misconceptions and Science Education, Cornell University, Ithaca, N.Y.
- Izquierdo, M.** (1993b). *¿Cómo se escribe sobre los experimentos? Análisis de la función de los experimentos en textos de química del siglo XIX y consecuencias para la enseñanza*. Jornadas de Filosofía e historia de las Ciencias, Vigo, Galicia.
- Izquierdo, M.** (1994). *Algunes reflexions sobre el llenguatge simbòlic químic. "El somni de Lavoisier"*, XII Encuentro de Historia y Filosofía de la Ciencia, Vigo, Galicia.
- Izquierdo, M.** (1995). La V de Gowin como instrumento para la negociación de los lenguajes. *Aula*, 43.
- Izquierdo, M.** (1995a). *La enseñanza de conceptos científicos a partir de la experimentación escolar. Relación entre historia de las ciencias y didáctica de las ciencias*. (Documento de trabajo), Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas, Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- Izquierdo, M.** (1995b), *La experimentació escolar, des de la perspectiva del model cognitiu de ciència*, Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad Autónoma de Barcelona.

- Izquierdo, M.** (1995c). ¿A qué se refieren los libros de texto? Su valor epistemológico. En: *Aspectos Didácticos de las Ciencias Naturales*. ICE de la Universidad de Zaragoza.
- Izquierdo, M.** (1995d). *La función de las fórmulas en la formación y divulgación del conocimiento científico*, XIII Jornadas de Historia y Filosofía de la Ciencia, Vigo, Galicia.
- Kempa, F.** (1991). Los alumnos prefieren diferentes estrategias didácticas de la enseñanza de las Ciencias en función de sus características motivacionales. *Revista enseñanza de las Ciencias*. 9 (1) 59-68.
- Khun, T.** (1977). *La estructura de las revoluciones científicas*, Madrid, Fondo de Cultura Económica.
- Labarrere, A. & Quintanilla, M.** (1999). La creatividad como proceso de desarrollo ¿Cómo aproximarla en la ciencia escolar? *Revista Pensamiento Educativo* N° 24, pp. 249-268.
- Lakatos, I.** (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*, Alianza Editorial: Madrid.
- Laudan, L.** (1986). *El progreso y sus problemas. Hacia una teoría del crecimiento científico*, Ed. Encuentro, Madrid.
- Llorens, J.A.** (1987). Propuesta y aplicación de una metodología para analizar la adquisición de los conceptos químicos necesarios en la introducción a la teoría atómico-molecular. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Llorens, J., De Jaime, M^a & Llopis, R.** (1989). La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciencias. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 7 (2), 111-119.
- Montserrat, J. y Torrents, D.** (1987). *Las transformaciones del Platonismo*, Publicaciones de la Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Autónoma de Barcelona.
- Newton-Smith, W.H.** (1987). *La racionalidad de la ciencia*, Ed. Paidós, Barcelona.
- Nussbaum, J.** (1989). Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, 11, 530-540.
- Osborne, J. y Freyberg, P.** (1991). *El aprendizaje de las ciencias. Implicaciones de la ciencia de los alumnos*, Ed. Narcea, Madrid.

- Popper, K.** (1995). *En busca de un mundo mejor*. Ed. Paidós. Barcelona, España.
- Popper, K.** (1992). *Sociedad Abierta, Universo Abierto*, Ed. Tecnos, Madrid.
- Pozo, J.** (1996). *La Psicología cognitiva del conocimiento científico y del conocimiento cotidiano: Continuidad y discontinuidad*. Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Madrid.
- Quintanilla, M.; Santelices, L.; Astroza, V.; De la Fuente, R. & Freixas, G.** (1999). La formación de profesores de ciencias experimentales en Chile: una crisis no resuelta. Boletín de Investigación Educacional. Publicaciones de la Facultad de Educación de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Vol. 14 pp. 409-440.
- Quintanilla, M. & Izquierdo, M.** (1997). *La construcción del experimento escrito en estudiantes de secundaria*. Comunicación presentada en el V Congreso Internacional de Didáctica de las Ciencias, Murcia, España.
- Quiroz, R.** (1991). Obstáculos para la aprobación del contenido académico en la escuela secundaria. *Revista Infancia y Aprendizaje*. 55, 45-58.
- Saltiel, E. y Viennot, L.** (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes? *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 3 (82), 137-144.
- Sanmartí, N.** (1990). *Dificultats en la comprensió de la diferenciació entre els conceptes de mesca i compost*. Tesis Doctoral. UAB.
- Sanmartí, N.** (1994). Aprender ciencias desde la diversidad, ¿fuente de problemas o de riqueza? *Aula de innovación educativa*, 27, 27-31.
- Sanmartí, N.; Jorba, J.** (1995). Autorregulación de los procesos de aprendizaje y construcción de conocimientos. *Revista Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Nº 4, abril, pp. 59-77.
- Toulmin, S.** (1977). *La Comprensión Humana*. Tomo I. Alianza Universidad. Madrid, España.