



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
FACULTAD DE EDUCACIÓN



Programa de Doctorado en Ciencias de la Educación
Departamento de Didáctica

Didactología, formación docente e investigación educativa

(Document de treball)

Mario Quintanilla Gatica
Mercé Izquierdo i Aymerich
(Editores)

Barcelona, 29 de junio de 2006

Presentación

Este ‘documento de trabajo’ que presentamos a continuación es fruto de un semestre de documentación, reflexión y discusión del curso *Teoría didáctica y construcción del conocimiento disciplinar en la escuela* impartido durante el periodo lectivo marzo-junio 2006 por el profesor Mario Quintanilla en el programa de doctorado en ciencias de la educación de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Nos parece que es un texto de gran interés en la medida que da cuenta de los principales marcos teóricos y metodológicos de la didactología como la ‘nueva ciencia de enseñar ciencias’. Pero sobretodo, porque es el producto científico de noveles doctorandos de Chile que se inician en la aventura de continuar develando la maravilla del conocimiento científico desde una visión comprensiva, pragmática y realista que se consolida en la comunidad de didactas como una nueva manera de conocer, comprender e intervenir en el mundo.

Esperamos muy sinceramente que este texto se convierta en un documento que estimule nuevas ideas y contribuya sin duda alguna a potenciar la necesaria ruta de una nueva cultura docente de formación, investigación, gestión y divulgación en el campo de la didáctica de las ciencias experimentales, sociales y de las matemáticas.

Felicitacions a tots!

Mercé Izquierdo i Aymerich
Catedrática de Escuela Universitaria
Departamento de Didáctica de las Mm i de las CCEE
Universidad Autónoma de Barcelona

Mario Quintanilla Gatica
Profesor Adjunto
Departamento de Didáctica
Facultad de Educación
Pontificia Universidad Católica de Chile

Bellaterra, Barcelona, 29 de junio de 2006

Índice temático

Introducción	
A propósito de la didactología como ‘nueva ciencia’	
Luz Mary Chavarro	4
Capítulo 1	
<i>La didactología: la ciencia de enseñar ciencias.</i>	
Fernando Soto	16
Capítulo 2	
<i>Aproximaciones a la evolución del concepto ‘Geografía’ desde el modelo de S. Toulmin. Desde los griegos hasta Kant.</i>	
Paloma Miranda	28
Capítulo 3	
<i>La formación de profesores de ciencias en la enseñanza básica: Aspectos relacionados con las concepciones frente al cambio conceptual en ciencias.</i>	
Luigi Cuellar	45
Capítulo 4	
<i>Los campos formativo, epistemológico e investigativo: elementos que aportan a una ciencia emergente como la didactología</i>	
Hernando Velásquez	56
Capítulo 5	
<i>El concepto de ley periódica a través de la historia de la química: Un análisis desde el modelo de evolución conceptual de Toulmin</i>	
Johanna Camacho	67
Capítulo 6	
<i>Aplicación del modelo de Toulmin al Objeto Matemático Raíz Cuadrada</i>	
Roberto Vidal	78

Introducción

A propósito de la didactología como una 'nueva ciencia'

Luz Mary Chavarro Porras

Servicio Nacional de Aprendizaje- SENA, Colombia

Bogotá - Colombia

Resumen

El capítulo denominado “A Propósito de la Didactología como una ‘nueva ciencia’ pretende mostrar una visión amplia y general de la didactología entendida como la ciencia de enseñar ciencias, para lo cual parte de presentar la postura de diferentes autores en torno a ella, como ciencia cognitiva unificada o tecnociencia. A continuación, se hace un somero análisis de las etapas históricas de la didactología y se concluye con aquellas condiciones que le permiten plantearla como la ciencia de enseñar ciencias

Palabras clave Didactología, didáctica de las ciencias, ciencia de enseñar ciencias.

Abstract

The article denominated “With regard to the Didactología as a new science” tries to show an ample and general vision of the didactology understood like science to teach sciences, for which part to present the position of different authors around it, as a knowledge science unified or “tecnociencia”, immediately to make a brief historic analysis of the stages of the didactology and to conclude with those conditions that allow him to raise it like science to teach science.

Key words Didactology, science education, science to teach science

Consideraciones previas

Hoy más que nunca es evidente el desafío que tiene la educación de fomentar el conocimiento alrededor de educación científica, por cuanto se afirma que de ella dependen grandes tareas del siglo XXI, como son: el desarrollo humano, la equidad social y la integración cultural. Así, la mirada de la ciencia y la tecnología como entelequias aisladas de los acontecimientos sociales y culturales hacen parte de un pasado y surge la necesidad de un nuevo contrato ciencia-sociedad-cultura. Contrato social que propende por la democratización de la ciencia y que involucra diversos actores en el campo internacional, del ámbito científico, tecnológico, educativo y de la política pública, entre otros.

Ciencia – sociedad – cultura, definen hoy campos de trabajo consolidados e interrelacionados, en los cuales participan activamente científicos, universidades, centros educativos y administraciones públicas de algunos países. De esta manera se ha contribuido a hacer explícito el papel que la ciencia desempeña en la generación de bienestar material, pero también la necesidad de reconceptualizar sus relaciones con la tecnología y los agentes sociales en el marco de contexto actual.

En relación a esto, Acevedo, Manassero y Vásquez; 2002) expresan “...dentro de un marco general educativo acorde con la finalidad de la alfabetización científica y tecnológica de todas las personas que pretenda realmente incidir en su vidas cotidianas, los contenidos propugnados por el movimiento Ciencia Tecnología y Sociedad –CTS- se consideran, cada vez más, una respuesta innovadora a un indicador de calidad de la enseñanza de la ciencia (Acevedo, 1997; Vásquez, 1999). La perspectiva CTS, que subraya especialmente las relaciones de la ciencia y la tecnología con la sociedad (en todos los sentidos posibles), propicia la contextualización social de los contenidos científicos y tecnológicos, analiza los impactos sociales que provocan la ciencia y la tecnología en la sociedad y promueve la posibilidad de una participación responsable, bien informada y con fundamentos, de los ciudadanos en las políticas científicas y tecnológicas para un desarrollo más justo y sostenible, así como la toma de decisiones democráticas sobre estos importantes asuntos de interés público, como pueden ser las decisiones relativas a la preservación del medio ambiente en todos los ordenes”.

La mirada anterior, obliga la pregunta por el papel de la educación científica, en la promoción de la alfabetización científica, el estímulo y la consolidación de redes de jóvenes profesionales que muestran vocación por el estudio de la ciencia y la tecnología y su contribución a cerrar el abismo entre la cultura humanista y la cultura científico-tecnológica que fractura nuestra sociedad actual. Ante el cuestionamiento planteado, se puede afirmar que desde hace tres décadas y a partir de la búsqueda de respuestas ante la educación científica, nuevas corrientes de investigación académica en psicología de la educación, filosofía de la ciencia, historia de la ciencia y sociología de la ciencia, didáctica de la ciencia, teoría de la educación, de manera disciplinar e interdisciplinar, buscan encontrar caminos que se acerquen a la solución de los problemas que tiene que ver con la generación del conocimiento científico en la escuela.

El párrafo anterior, grosso modo, presenta los antecedentes y situaciones que contribuyen a dar origen a la didactología, entendida como la ciencia de enseñar ciencias y más conocida como la didáctica de las ciencias naturales, sociales y humanas,

según sea el campo de acción en el cual se esté trabajando. Campo científico cuya preocupación fundamental se centra en el estudio de los procesos de enseñanza – aprendizaje de la ciencia en general y en particular de los campos científicos que integran las ciencias naturales sociales y humanas.

Con el ánimo de hacer un acercamiento a la didactología, se toman algunos autores que han venido trabajando alrededor de este campo científico y que a hoy permiten argumentar sobre esta disciplina; como lo afirman (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2002) cuando expresan: Nuestro trabajo se inscribe en una larga tradición de reflexiones metateóricas (o de segundo orden) acerca de la naturaleza epistémica de la didáctica de las ciencias (Izquierdo, 1990; Gil-Pérez, 1996; Peme-Aranega, 1997; Porlán, 1998). Hemos venido haciendo varias aportaciones a esta tradición (Adúriz-Bravo, 1999, 1999/2000, 2000; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2001).

1. ¿Es la didactología una ‘nueva ciencia’?

Todos los docentes o todas aquellas personas que nos hemos dedicado a la labor educativa, hemos enfrentado y tratado de dar respuesta a través de diferentes miradas a las preguntas sobre: qué enseñar, cómo enseñar, cuándo enseñar, para qué enseñar, y cómo y cuándo evaluar. Cuestionamientos que en aras a una respuesta han hecho su mayor énfasis en la búsqueda de métodos, modelos técnicas, instrumentos que contribuyan a dar respuesta a tales interrogantes; para lo cual, algunos docentes han tenido como referente inmediato la didáctica y la pedagogía. Entendida la didáctica como la parte de la pedagogía que se ocupa de los sistemas y métodos prácticos de enseñanza destinados a plasmar en la realidad las directrices de las teorías pedagógicas.

A lo anterior hay que agregar, que el acelerado desarrollo científico-tecnológico del mundo actual, visto desde la globalización en el ámbito económico, tecnológico, político y la acentuación de las diferencias en la distribución del conocimiento y de la riqueza., acrecienta los desafíos y la problemática que cada día con mayor urgencia debe asumir la educación. Si bien, la educación y sus diferentes actores, han logrado abrir un espacio de reflexión sobre este estado de situaciones, en aras a buscar opciones para el futuro; asimismo es cierto que desde otros escenarios también educativos, se asumen posiciones ligeras donde se establece y se pretende hacer creer que la tecnología resolverá la totalidad de los problemas educativos, gracias al sofisticado uso que de ella se puede hacer y debido a su acción instrumental.

Situación que acrecienta el problema de la educación, cuando se cree que los problemas educativos se solucionan con herramientas de trabajo “poderosas” que se colocan en las manos de los docentes y se desconoce la esencia del proceso educativo, las relaciones culturales y sociales que en él se dan, así como el papel que juega el conocimiento científico por sí mismo. Es decir, se olvida la función de la educación de ser eje de la transformación social y económica de una sociedad. Al respecto (Gil Pérez; 2000) alerta, “En definitiva, las nuevas tecnologías —cuyo valor instrumental nadie pone en duda— no pueden ser consideradas, como algunos siguen pretendiendo, como el fundamento de una tendencia realmente transformadora. Tras esa pretensión se esconde, una vez más, la suposición ingenua de que una transformación efectiva de la enseñanza puede ser algo sencillo, cuestión de alguna receta adecuada, como, en este caso, la «información». La realidad del fracaso escolar, de las actitudes negativas de los

alumnos, de la frustración del profesorado, acaban imponiéndose sobre el espejismo de las fórmulas mágicas”.

Tal como lo expresa este mismo autor (Gil Pérez; 2000), “La importancia de las inversiones en educación y, muy particularmente, en educación científica y tecnológica, viene siendo considerada, desde hace décadas, como un capítulo prioritario para hacer posible el desarrollo de un país. Se trata, podríamos decir, de un planteamiento «tradicional»...” Por lo tanto, es fundamental tener en cuenta que desde la década del 70 o desde hace más de 30 años, la didáctica de las ciencias ha venido construyendo un corpus de conocimiento fundamentado, que a hoy se constituye en un marco adecuado para llevar a cabo transformaciones en la enseñanza de las ciencias. Fruto de la búsqueda para solucionar los problemas que debían afrontar los docentes en el aprendizaje de los contenidos específicos de ciencias.

La educación en ciencias, cobra mayor importancia frente al desarrollo científico y tecnológico en tanto este influye cada vez más en la sociedad y en la cultura, por lo que se afirma la necesidad de un nuevo contrato entre ciencia y sociedad, a partir de una nueva cultura científica. Se trata de un proceso de enseñanza del conocimiento científico, vinculado a las normas y valores de la comunidad y que tiene en cuenta la sociedad en que se desarrolla. Así, como lo esboza (Holbrook, 2000) “la enseñanza de la ciencia no puede ceñirse al conocimiento científico y tecnológico, sino que los objetivos y las capacidades a desarrollar deberán ser más holísticos y tener auténtica relevancia social, incluyendo los valores éticos y demográficos que se ponen en juego cuando interviene la ciencia y la tecnología en la sociedad”.

Los planteamientos anteriores dan cuenta de la importancia del conocimiento en el campo de la enseñanza de las ciencias como actividad sociocultural y eje fundamental para el desarrollo de la humanidad. Donde la didactología, debe entrar a jugar un papel fundamental, en cuanto cuenta con un sistema de conocimientos, ideas y experiencias, teóricamente fundamentado, el cual constituye el marco adecuado para llevar a cabo las necesarias transformaciones en la enseñanza de las ciencias.

Pero qué es entonces la didactología... como ciencia

Para empezar a reflexionar y acercarnos a tan importante tema de estudio, para todos aquellos que su quehacer tiene que ver con la enseñanza, iniciemos por analizar estos enunciados.

1. “...la didactología o “la ciencia de enseñar ciencias”, que puede ser considerada ahora una nueva disciplina emergente, un nuevo campo científico que tiene que ver con la planificación, la ejecución y la evaluación de esta enseñanza en base a un planeamiento teórico”. (Estany e Izquierdo, 2001).
2. “Nuestra visión de la didáctica de la ciencia es entonces la de una disciplina por el momento autónoma, centrada en los contenidos de las ciencias desde el punto de vista de su enseñanza y aprendizaje (esto es, una disciplina de basamento mayormente epistemológico), y nutrida por los hallazgos de otras disciplinas ocupadas de la cognición y el aprendizaje (la psicología y las del área de la ciencia cognitiva)”. (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2002).

3. “La didactología es una ciencia de diseño en la medida en que teoriza sobre la transmisión y construcción del conocimiento y sobre los procedimientos que la hacen posible”. “A partir de esta caracterización de ciencia de diseño podemos decir que el objetivo de la didactología es la transmisión de conocimientos y de valores a los individuos de una sociedad en el marco de una cultura determinada...”(Estany e Izquierdo, 2001).

Las citas anteriores permiten afirmar entonces que la didactología es: la ciencia de enseñar ciencias, es una disciplina emergente, autónoma, cognitiva, una ciencia de diseño. Acorde con los mismos autores que nos ubican en la didactología como ciencia de estudiar ciencias y en particular, como lo plantea Izquierdo, vamos a partir de establecer qué es la ciencia.

Si consideramos la ciencia, no en su concepto tradicional, o de enfoques absolutistas donde el conocimiento científico es entendido como aquel que puede ser confirmado por la evidencia de los sentidos o por el poder del intelecto, sino teniendo en cuenta que su complejidad ha conducido a la necesidad de asumir posturas moderadas que permitan explicar cómo se produce actualmente la ciencia y cómo se socializa. En palabras de (Izquierdo, 2000) “Se ha pasado de considerar que la ciencia es un conjunto organizado y validado de conocimientos que explican como es el mundo en que vivimos a considerar que la ciencia es un tipo de actividad humana y por ello compleja y difícil de predecir”.

Propone (Izquierdo 2000) tomar como referentes, para la enseñanza de las ciencias, el modelo cognitivo de ciencia que presenta (Giere, 1988) y el concepto de ciencia que como actividad plantea (Echevarría, 1995). Importante tener en cuenta que uno de los problemas fundamentales de la ciencia cognitiva consiste en entender las dificultades del aprendizaje.

De acuerdo con (Giere, 1992) “La ciencia es una actividad cognitiva, lo que quiere decir que trata con la generación del conocimiento”, el mismo Giere denomina esta postura realismo naturalista. En cuanto considera que las teorías plantean una cierta representación del mundo, por lo tanto son realistas y naturalista porque intenta explicar los juicios y decisiones científicas a partir de los mismos criterios de los científicos. Afirma que la teoría cognitiva de la ciencia debe ser unificada, esbozando una perspectiva amplia que incluya partes de la lógica y la filosofía, pasando desde la neurobiología cognitiva, a través de la psicología cognitiva y la inteligencia artificial, hasta la lingüística y de ahí a la sociología y la antropología cognitivas; así continúa “Uno no debe poner restricciones a priori sobre lo que ha de resultar útil al explicar el fenómeno de la ciencia moderna”.

De otra parte (Echevarría, 1995; citado por Izquierdo 2000) “considera que para comprender la dinámica de la ciencia, ya no basta la epistemología (la justificación lógica del conocimiento) sino que necesitamos también recurrir a la axiología (al sistema de valores que justifican las acciones humanas). Y, siguiendo a Hacking (1983), considera que la ciencia actual pretende no solo conocer el mundo sino, sobre todo, transformarlo”.

Así, desde estos autores, (Izquierdo, 2000) indica que el “saber científico escolar (didactología) puede ser analizado desde la ciencia cognitiva y además permite

presentar las teorías científicas dando prioridad a la significatividad de la misma para el alumnado”. Aclara, “no vamos a reproducir los razonamientos de los científicos, sino que vamos a generar razonamientos derivados de los propios valores de la escuela, relacionados con los modelos y fenómenos que son relevantes para los alumnos y que contribuyen a la educación científica”

Para Estany e Izquierdo (2001) la didactología puede ser considerada ahora una nueva disciplina emergente, debido a que en la actualidad es posible describir lo que pasa cuando se enseña ciencias (cómo funciona la interacción alumno-profesor-materia a enseñar, en un espacio social determinado) y empiezan a formularse teorías al respecto.

La visión de la didáctica de la ciencia como disciplina autónoma, centrada en los contenidos de las ciencias desde el punto de vista de su enseñanza y aprendizaje, que plantean (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2002), es soportado por ellos cuando afirman: “Es más bien una disciplina con carácter propio, dotada de una perspectiva teórica autónoma (Izquierdo, 1990), que está conectada con otras, pero que no se limita a constituir un conglomerado de saberes ni una aplicación de modelos teóricos externos a situaciones de aula particulares. Desde sus orígenes, la didáctica de las ciencias ha apoyado su autonomía en un abordaje sistemático y científico de la educación en ciencias (Joshua y Dupin, 1993); para ello se ha sustentado en un enfoque curricular que combina los abordajes epistemológico y psicológico (Cleminson, 1990). Más recientemente ha sumado a ellos la perspectiva pedagógica, para completar así los tres registros de la disciplina (Martinand, 1987; Sanmartí, 1995).”

Con relación a la didactología como ciencia de diseño, expresada por (Estany e Izquierdo, 2001), las autoras, se soportan en la clasificación que hace I. Niiniluoto de las ciencias básicas y las ciencias aplicadas, en las que establece que las ciencias aplicadas se encuentran entre las ciencias básicas y la tecnología. De otra parte, Niiniluoto, clasifica dentro de las ciencias aplicadas las ciencias de diseño y de acuerdo con (Estany e Izquierdo, 2001), las ciencias de diseño son aquellas que no dicen “cómo son las cosas, sino cómo deberían ser para alcanzar determinados fines y ejercer determinadas funciones”.

Por lo tanto, para las autoras, la didactología es una ciencia de diseño por que teoriza sobre la transmisión y construcción del conocimiento y sobre los procedimientos que los hacen posibles. La didactología tendría varias ramas en función del tipo de conocimiento que queramos transmitir y que constituyen las diversas didácticas especiales...Así, “los fines u objetivos de la didactología constituyen la vertiente por la que se considera una ciencia de diseño”

2. Una Mirada a la Historia de la Didactología

Con el ánimo de soportar, aún más las particularidades de la didactología como ciencia, se presenta su evolución histórica, tomando como referente el trabajo realizado por (Adúriz-Bravo, 1999/2000). Al considerar las cinco etapas que ha propuesto este autor, se pasan los apartes más relevantes de las mismas, que permitan una mayor claridad acerca de la didactología. Es valido aclarar que Adúriz-Bavo e Izquierdo (2002), señalan que se puede ampliar o conocer más sobre este proceso histórico consultando los siguientes autores y textos. “periodizaciones históricas de la didáctica

de las ciencias en Peme-Aranega (1997) y Porlán (1998), para el panorama europeo, y en Fensham (1988) y Duschl (1990), para el caso anglosajón”.

1. *Etapa adisciplinar*. Desde fines del siglo XIX hasta mediados de la década del '50 del siglo XX, las producciones en el campo que hoy llamamos didáctica de las ciencias son escasas y heterogéneas. La disparidad de estas producciones y la falta de conexión entre sus autores no permiten suponer la existencia de la didáctica de las ciencias. Arrieta-Gallástegui (1989), hablando de la didáctica de la matemática, atribuye la falta de consolidación de esta disciplina en sus primeras épocas a la inexistencia de clientes que demandaran el conocimiento científico y tecnológico específico que le daría más tarde identidad.

Esta explicación puede ser trasladada a la didáctica de las ciencias, considerando que la paulatina aparición de la clientela surge con la preocupación que supuso, para los Estados Unidos, la percepción de un “retraso” científico respecto de la Unión Soviética, adscrito al descuido de la preparación científica de la población general (es el episodio del lanzamiento del Sputnik como punto de inflexión para la educación científica: Aliberas, 1989).

2. *Etapa tecnológica*. Tiene su inicio en la voluntad de cambio de los currículos de ciencias que se extiende rápidamente por el mundo anglosajón durante las décadas del '50 y '60, como respuesta institucional a la preocupación antes mencionada. Se ponen en marcha una serie de programas a gran escala, que toman como orientación teórica diversas investigaciones de la psicología del aprendizaje que son inespecíficas de los contenidos de ciencias; los programas son luego evaluados con un aparato metodológico fuertemente cuantitativo (Fensham, 1988; Gutiérrez, 1985).

Las reformas curriculares generadas en esta etapa se apoyan en la autoridad de nombres científicos muy reconocidos, como los de Jerome Bruner, Robert Gagné y Robert Karplus. Autores como Bybee (1977) destacan esta peculiar característica de las propuestas innovadoras de la enseñanza de las ciencias que se formulan tempranamente en los Estados Unidos.

La didáctica de las ciencias eficientista de esta etapa pretende apoyarse en el conocimiento científico generado en áreas disciplinares externas; genera una base de recomendaciones, recursos y técnicas de corte metodológico. Es por su voluntad de intervenir en el aula sin ocuparse del desarrollo de conocimiento básico, que podemos caracterizarla como tecnológica. Es interesante destacar que esta concepción tecnológica de la didáctica aún permanece arraigada en muchos países, particularmente en aquellos donde la investigación didáctica de base científica no está todavía muy desarrollada.

Según Aliberas (1989), la didáctica de las ciencias, en su surgimiento como área de conocimiento, estuvo caracterizada por una precisa delimitación de sus objetivos y metas. El posterior cuestionamiento de estas metas a causa del fracaso de las acciones tecnológicas destinadas a mejorar el nivel de la educación científica de la población general, desembocó en la necesidad de reformular el incipiente campo de estudios (Izquierdo, 1990). Este campo resurge con identidad propia, basado en un nuevo enfoque autónomo que pretende estar cada vez menos ligado a las fuentes teóricas

externas. Además, está a partir de entonces más preocupado por la aculturación científica del ciudadano que por la formación de élites científicas.

3. *Etapa protodisciplinar.* A mediados de la década del '70 crece el consenso acerca de la existencia de un nuevo campo de estudios académicos; los investigadores en didáctica de las ciencias comienzan a considerarse miembros de una misma comunidad, que se independiza crecientemente de las antes mencionadas, y que acepta la necesidad de formular problemas propios y distintos. Comienza a aparecer entonces la llamada facultad invisible (invisible college) (Gutiérrez, 1985).

Los problemas de investigación de la didáctica estarán ligados inicialmente al aprendizaje de contenidos específicos de ciencias; a partir de aquí se verificará una progresiva separación teórica de los tradicionales modelos de tendencia más psicológica (esto es, más centrada en el aprendizaje) y los nuevos modelos didácticos en sentido amplio. Como Laurence Viennot (citada en Gil-Pérez, 1994) marcará más tarde, el extraordinario empuje que recibió esta temprana línea de las concepciones alternativas puede deberse a la necesidad de mostrar desde la naciente didáctica de las ciencias resultados académicos rápidos y contundentes.

Los estudios en didáctica de las ciencias, por otra parte, ganan su reconocimiento en el ámbito universitario (por lo menos en los países líderes de este proceso), aunque generalmente se formulan como postgrados de los tradicionales estudios científicos naturales.

4. *Disciplina emergente.* En la década del '80, los didactas de las ciencias de los países punteros comienzan a preocuparse por la coherencia teórica del cuerpo de conocimiento acumulado. Se reconoce la existencia de un conjunto de personas guiadas por la misma problemática, y se considera necesario un análisis más riguroso de los marcos conceptuales y metodológicos para conducir la exploración sistematizada de esta problemática.

La autorrevisión conceptual que así se inicia, caracterizada por la apertura interdisciplinar (Astolfi y Develay, 1989), desemboca sobre el fin de la década en el consenso acerca de que el constructivismo, en su versión didáctica, es la base teórica común para la mayor parte de los estudios del campo (Izquierdo, 1990; Moreira y Calvo, 1993). El enrolamiento masivo de los investigadores y profesores, a menudo a nivel de discurso superficial (Carretero y Limón, 1997), en las filas de este constructivismo, está dando paso ahora a la discusión acerca de las posibilidades que tiene este marco de convertirse en un modelo teórico sólido, y de guiar a modo de paradigma a la didáctica de las ciencias.

5. *Disciplina consolidada.* Durante los últimos años, a pesar de la escasez de estudios sobre la disciplina (paralela a la explosión de la cantidad de estudios en la disciplina), existe una opinión más o menos generalizada acerca de la creciente consolidación de la didáctica de las ciencias como cuerpo teórico y como comunidad académica (Gil-Pérez et al., 2000).

Joshua y Dupin (1993), autores del primer manual universitario de didáctica de las ciencias, se basan para afirmar esta situación de consolidación en la premisa de que la disciplina ha madurado lo suficiente como para poder ser enseñada a su vez. La

enseñabilidad es entonces vista como un argumento central para sostener la disciplinabilidad de la didáctica, pues tiene como condición necesaria la existencia de una estructura de coherencia propia, transponible y difundible. Podemos conceptualizar esta enseñabilidad como un conjunto de reglas implícitas que tiene la comunidad académica para hacer públicos sus saberes (GECE, en prensa). Signos de la enseñabilidad, que muestran la existencia de un discurso comunicable, son la producción de manuales, compilaciones y diccionarios de didáctica, y la sanción de planes de estudio de postgrado.

El consenso casi unánime mantenido con respecto a la consolidación parece apoyarse, aunque muchas veces no explícitamente, en una serie de indicadores empíricos que avalan la madurez de la didáctica de las ciencias.

Algunos de estos indicadores son:

1. La cantidad de producciones anuales, que ha crecido exponencialmente (Gil-Pérez, 1996);
2. La consolidación de redes de difusión de resultados a nivel mundial, tales como los importantes congresos en diferentes subespecialidades (Sanmartí, 1995);
3. El reconocimiento de la didáctica de las ciencias como área de conocimiento específica y como titulación de postgrado (Gil-Pérez et al., 2000); y
4. La complejidad y potencia heurística de varios de los modelos didácticos formulados. Estos comienzan a poseer una estructura ampliamente reconocida como científica, y se están unificando cada vez más en familias teóricas generales.

Otro cambio notable de los últimos años proviene de la instalación creciente de las titulaciones superiores en el área. En toda Europa, cada vez más egresados inician sus tareas de investigación en la didáctica de las ciencias sin pasar previamente por la investigación en la propia ciencia de origen. Además se da la aceptación por parte de los campos profesionales periféricos (epistemólogos, psicólogos, pedagogos) de la autonomía y cientificidad de la didáctica de las ciencias (Pozo, 1993). Un último punto es el acercamiento sostenido, en los últimos diez años, entre las comunidades de didactas de Norteamérica, Gran Bretaña, Australia, Europa continental y Latinoamérica.

Consideramos que la evolución general de la didáctica de las ciencias en todo el mundo está marcada por grados crecientes de integración de sus llamados registros teóricos (epistemológico, psicológico y pedagógico; Martinand, 1987; Adúriz-Bravo, 1999/2000). De ellos surge una genuina perspectiva didáctica independiente, cada vez menos deudora de las fuentes externas. Esta alta especificidad epistemológica es la que permite a la didáctica de las ciencias constituirse como comunidad académica y ser reconocida desde el exterior.

Este proceso histórico, tal como puede observarse, permite ratificar las afirmaciones hechas por autores citados, en el sentido de considerar a la didactología como una ciencia emergente, autónoma, cognitiva y de diseño. Debido a que en él es factible establecer la forma en que ha venido consolidando su fundamento epistemológico, cómo se ha generado el proceso de su desarrollo investigativo, los distintos campos disciplinares que le han aportado, y cómo está se desarrolla por la actividad científica que alrededor de la educación se realizaba en Europa y Estados Unidos y no de manera

directa de las didácticas especiales de las ciencias. Sin embargo, es esencial reconocer el gran aporte que la didáctica de las ciencias experimentales le proporciona.

Prioritario para el análisis de la historia de la didactología, tener en cuenta como lo señalan (Estany e Izquierdo, 2001), que el objetivo de la didactología es la teoría de la enseñanza de las ciencias en general, en cuanto no hay principios teóricos que sean básicamente diferentes. Pero, esto no quiere decir que no los haya en las ciencias particulares (naturales, sociales, humanas), a nivel de su enseñanza, cuando que afirman: “Desde el punto de vista de transmisión de conocimientos no hay distinción radical, es decir, no se rigen por principios teóricos radicalmente distintos las ciencias humanas, naturales y sociales. Sin embargo, podemos encontrar diferencias en el nivel que llamamos “didáctico” que responde a las diferencias entre disciplinas científicas”

3. Qué Papel le Corresponde Jugar a la Didactología como la Ciencia de Enseñar Ciencias en el Siglo XXI.

Si una de las principales exigencias que se le plantea a la educación es la alfabetización científica, como parte esencial de una educación básica para todos los ciudadanos y ciudadanas, obliga la pregunta por el papel que le corresponde jugar a la didactología. Como lo establece (Maiztegui; 2002) pareciera que la educación científica se ha entendido como “educación científica y tecnológica”. Este autor, resalta como “la reivindicación de una alfabetización específicamente tecnológica, en la que están insistiendo diversos tratadistas (Ginestié, 1997; Cajas, 1999, 2000; Bybee, 2000; Wulf, 2000; Anderson y Helms, 2001) ha constituido una cierta sorpresa para muchos de los autores de este trabajo, pese a la existencia de algunos precedentes en el campo de la didáctica de las ciencias (Layton, 1988; Fleming, 1989; Lewis, 1991; Gilbert, 1992; Gardner, 1994; Solomon, 1995; Acevedo, 1995, 1996) y de diversas tradiciones que han resaltado el valor educativo de la actividad técnica y de la aproximación de la escuela al mundo laboral (Dewey, 1945; Freinet, 1971; Schools Council, 1971). Una sorpresa que ha dejado paso al reconocimiento de no haber prestado hasta aquí suficiente atención a la tecnología y a su papel en la educación científica, como si la expresión ciencia-tecnología designara un concepto único, asumido por la educación científica, que hiciera innecesaria la consideración de cualquier aporte específico de la educación tecnológica (Gardner, 1994, 1997)”.

Condición que no deja de ser aún más preocupante en cuanto se estaría asumiendo que se tienen claras desde el ámbito educativo las relaciones ciencia-tecnología, es decir se sabe como abordar el problema de la enseñanza y el aprendizaje de esta relación, tal y como lo señala nuevamente (Maiztegui; 2002), “No deja de ser sorprendente, insistimos, que estemos abogando por la incorporación de las relaciones CTS como una dimensión básica de la educación científica sin que apenas nos hayamos planteado cuáles son las relaciones ciencia-tecnología. Ello lleva a suponer que dichas relaciones CT son concebidas como algo claro, obvio, que no precisa mayor atención. Pero cabe sospechar, una vez más, que lo que aceptamos como obvio constituye un obstáculo fundamental para una adecuada comprensión de los campos implicados, en este caso la educación científica y la tecnológica”.

La relación planteada y el problema que de ella se genera, debe ser asumida por la escuela y en general por la educación, pero en particular es problema de los profesores de ciencia, quienes ya no solo requerirán una fuerte formación en los

elementos epistemológicos, históricos, teóricos, teórico-disciplinarios, pedagógicos y didácticos (Quintanilla; 2004), sino que también requerirá un conocimiento de la naturaleza y la historia de la tecnología que afecta el conocimiento científico.

Si bien hoy, no existe un conocimiento generalizado de la didactología y de la didáctica de las ciencias, como lo afirma (Quintanilla; 2004), “en la comunidad de “expertos” se desconoce el carácter “científico” de sus aportaciones, debido a la persistencia de estereotipos o representaciones incompletas de la naturaleza de la didáctica de las ciencias, su objetivo de conocimiento y estrategias de investigación y producción. En este sentido, si tuviéramos que incorporar algunas precisiones conceptuales, diríamos que la didáctica de las ciencias se encuentra en el imaginario colectivo en la postura de la así llamada pedagogía tradicional donde el proceso de enseñanza evaluación y aprendizaje, es entendido como la transmisión – recepción del saber específico que maneja el experto. Esta tendencia, corresponde a la visión instrumentalista, reproductiva o ingenua del conocimiento científico caracterizada epistemológicamente por la “lógica positivista” más externa de la naturaleza de la ciencia y su método; y psicológicamente por la visión conductista del aprendizaje y la enseñanza”.

Aflora en el párrafo anterior un nuevo problema, sobre el que llama la atención Quintanilla, respecto a la relación didáctica tradicional y didactología o la ciencia didáctica, donde es imprescindible reconocer que la educación ha venido siendo impregnada por los avances en la tecnología de la comunicación y la información, en donde la educación ha apropiado tal desarrollo en la búsqueda de sus diferentes objetivos, en apoyar la adquisición del conocimiento por parte de los estudiantes, a partir de las ventajas que los ambientes virtuales ofrecen dada su versatilidad, interactividad y capacidad de comunicación. Pero, como lo afirma (Herrera, 2005). “el desarrollo de ambientes virtuales para el aprendizaje se realiza, con frecuencia, de manera intuitiva, sin un análisis medido de los factores educativos que intervienen en el proceso”. Esta situación limita notablemente el potencial de la tecnología en el aprendizaje, dado que esta apropiación de la utilización de la virtualidad en los procesos formativos se ha realizado por medio de modelos tradicionales e instrumentalizados, en detrimento de una formación científica. Señala (Ferreiro, 2003) “No se trata de insertar lo nuevo en lo viejo, o de seguir haciendo lo mismo, con los nuevos recursos tecnológicos”.

Es este el escenario que desde el denominado nuevo contrato ciencia-sociedad-cultura, y desde la ciencia-tecnología- sociedad, debe afrontar la educación científica y por ende la didactología, y sobre el que se llama la atención, teniendo en cuenta que después de 30 años de trabajo de científicos y profesores alrededor de la didáctica de las ciencias o la didactología esta disciplina aún se desconoce, pero los retos de la educación científica cada día son mayores.

Conclusiones

La didactología, entendida como la ciencia de estudiar ciencias, es una disciplina teóricamente fundamentada, con una larga trayectoria en investigación, alejada de la didáctica tradicional. Debido a su proceso histórico, podríamos afirmar que la didactología nace de la investigación en ciencias de la educación con un carácter más psicólogo y pedagógico, pero hoy se reconoce en una relación directa con la didáctica

de las ciencias, soportándolas desde sus fundamentos teóricos. El desarrollo científico y tecnológico actual, demanda de ellas un arduo trabajo alrededor de las ciencias particulares, especialmente de aquellas que aún no presenta un corpus teórico fundamentado de su ciencia didáctica.

Referencias Bibliográficas

- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M., (2002) Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma, Universidad Autónoma de Barcelona, en Revista electrónica de enseñanza de las ciencias volumen 1, No. 3.
- Adúriz-Bravo, A, Izquierdo, M. y Estany, A., (2002) Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación, en Revista Enseñanza de las Ciencias, No. 20, Pág. 465-476.
- Estany A. e Izquierdo M., (2001) Didactología: Una ciencia de Diseño, en Separata ENDOXA: Series Filosóficas No. 14, Pág. 13-33, Madrid.
- Giere R., (1992) Hacia una teoría Cognitiva Unificada de la Ciencia, Capítulo 1 en La Explicación de la ciencia un acercamiento cognitivo. México.
- Giere R., (1992) Que es una teoría científica, Capítulo 3 en La Explicación de la ciencia un acercamiento cognitivo. México.
- Gil Pérez D., El papel de la Educación ante las transformaciones científico-tecnológicas. En Revista Iberoamericana de Educación Número 18 - Ciencia, Tecnología y Sociedad ante la Educación.
- Labarrere A. y Quintanilla M., (2002) La solución de problemas científicos en el aula. Reflexiones desde los planos de análisis y desarrollo, en Revista Pensamiento Educativo, volumen 30, Pág., 121-137, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Izquierdo M. (2000) Fundamentos Epistemológicos, Capítulo 2, en Perales F. J, y Cañal P., (2000) Didáctica de las ciencias experimentales: Teoría y Práctica de la enseñanza de las ciencias, Pág. 35 – 64. Marfil, España.
- Quintanilla M., (2004) Algunas reflexiones que justifican la necesidad de comprender y direccionar la didáctica de las ciencias experimentales en la formación profesional del científico, En Revista Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas, Pág. 9-30. Bogotá.

Capítulo 1

La didactología: la ciencia de enseñar ciencias.

Fernando M. Soto S.

Universidad Católica de la Santísima Concepción
Chile

Resumen

En este ensayo se presentan algunos antecedentes relacionados con la Didactología, derivados de planteamientos que diferentes autores hacen en su intento de aproximarse a la conceptualización de esta ciencia de enseñar ciencia. En tal sentido, forman parte de los contenidos de este texto el contexto de enseñabilidad de la ciencia en cuanto punto de partida para iniciar la reflexión pedagógica para la comprensión de por qué y cómo una ciencia requiere una enseñanza particular, el tipo de ciencia en que es clasificada la didactología, el objeto de estudio y objetivo de la misma, los campos disciplinares con que se relaciona interdisciplinariamente y que constituyen los pilares teóricos fundamentales que sustentan su quehacer y el contrato didáctico, en cuanto unidad a través de la cual se concreta el proceso de transmisión y construcción del conocimiento.

Abstract.

This approach shows some antecedents related to the didactic derived from point s of view that several authors make in their attempt to approach to the conceptualization of this science of teaching science. According to this, the contents of this text are formed by the context of the teaching ability which the science has as the point of departure to start the pedagogic reflection to understand why and how a science requires a particular teaching, the type of science wherein the didactic is classified, the subject to be studied and the objective of itself, the discipline realms which it interdisciplinary relates to and which are the fundamental theoretical pillars supporting its function and the didactic contract, which is the unity whereby the process of transferring and building of the knowledge is materialized.

Palabras claves: Didactología, didáctica especial, contexto de enseñabilidad de la ciencia, ciencia de diseño, contrato didáctico.

Key words: Didactic, especial didactic, context of the teaching ability of the science, designing science , didactic contract.

Introducción.

El presente ensayo tiene como objetivo central precisar algunos antecedentes que permitan una aproximación, desde una perspectiva teórica, a la pregunta ¿Qué es la didactología?, analizando y sistematizando los planteamientos que diferentes autores hacen en su reflexión acerca de la disciplina científica que hace de la enseñanza de las ciencias su objeto de estudio. En este sentido, a través del texto se presentan en primer lugar algunos antecedentes que dan cuenta del contexto de enseñabilidad de las ciencias, contexto que estando presente desde el momento mismo de la construcción del conocimiento científico, se identifica como el punto de partida para la enseñanza de la ciencia que lo produce.

A continuación se exponen los aportes de distintos autores orientados a situar la didactología en el marco de las disciplinas científicas y, a partir de ellos, delimitar el tipo de ciencia al que ésta se adscribe, su objeto de estudio y los pilares teóricos fundamentales en que la misma se sustenta para abordar la enseñanza de las ciencias.

Concluye el ensayo con una revisión de los elementos que configuran el contrato didáctico, en tanto unidad a través de la cual se materializa la transmisión y construcción del conocimiento y en el que convergen las distintas aportaciones de otros campos disciplinares con que la didactología mantiene nexos interdisciplinarios y desde los cuales aborda como disciplina científica autónoma la fundamentación teórica de la enseñanza de las ciencias, lo que se transforma en un punto de partida de la reflexión pedagógica orientada a la comprensión de por qué y cómo una ciencia requiere una enseñanza particular.

La enseñabilidad de los saberes de las ciencias:

Una necesidad de la ciencia es la de extenderse y de reproducirse a lo ancho del espacio y del tiempo. En opinión de Flórez, R. (2005), el origen de ella no se genera a partir de una derivación lógica-deductiva intrínseca a la estructura de los conocimientos científicos, sino que más bien de la necesidad de la comunidad científica de reproducirse, de ampliar y prolongar su empresa social de búsqueda en las nuevas generaciones de investigadores y de movilizar y difundir por una parte, sus conocimientos y, por otra, sus resultados alcanzados desde su paradigma, a través de la comunicación y la enseñanza, respectivamente. En palabras del autor, esta intersección cultural sobre la producción científica deriva del propio análisis de la ciencia y como tal la denomina “*contexto de la enseñabilidad*” de la ciencia.

En tanto respuesta cultural, este contexto de la ciencia se convierte en una dimensión que atraviesa el proceso mismo de la investigación científica, a instancia

de la cultura, repercutiendo sobre la estructura de los nuevos conocimientos y afectando los procesos de producción y comunicación de éstos (elaboración y formulación de proyectos y de los informes de investigación) y, por lo tanto, no es posible considerarlo como un contexto externo y sobreañadido y complementario a la producción científica.¹

El carácter intrínseco de la enseñabilidad de la ciencia, pone en evidencia la diferencia entre la explicación de un fenómeno para especialistas del área afín a éste, y la misma explicación expuesta a personas que carecen del vocabulario especializado; sin embargo, tal diferencia no es esencial ni definitiva si se considera la ayuda que prestan instituciones especializadas en el proceso de difusión de la misma, disminuyendo con ello tales diferencias.

Así, se puede sostener que no existe realización y consumación de una investigación científica hasta que ésta no produzca la movilización y circulación del saber generado a través del investigador para ser compartido intersubjetivamente (por ejemplo, bajo la forma de un artículo, informe, conferencia o exhibición cualquiera). En este sentido, la formulación de una explicación científica conforma tanto la estructura del saber científico, su funcionamiento y los modos de organización del mismo saber, desde el mismo momento en que esté concebido por el investigador para ser compartido con el (o los) otro (s) y, por lo tanto, la comunicabilidad del saber generado, más que consecuencia, es condición de su producción.

Siendo la comunicabilidad del saber una condición de su producción, cada disciplina podría ser caracterizada en orden a las formas de comunicación al interior de cada comunidad científica. Tal comunicación paradigmática se configura análogamente al contexto de la enseñanza propio de cada época, y sirve como garante y fundamento de la enseñabilidad de cada ciencia. En consecuencia, la enseñabilidad hace parte del estatuto epistemológico de cada ciencia.

Una primera consecuencia del reconocimiento de la enseñabilidad de la ciencia, es que el científico en su trabajo no está solo ni produce en forma aislada, por cuanto lo hace bajo la permanente presencia de sus destinatarios (los cuales pueden ser sus interlocutores, sus contradictores y competidores cercanos o lejanos, actuales o futuros) para desvirtuar sus objeciones, persuadirlos y mostrarles el nuevo horizonte. De igual manera, en directa relación con esta consecuencia está el hecho que se trate de un resultado parcial, de una investigación separada, éstos no pueden ser informados por el científico sino de manera sistemática dentro de cierto marco teórico conceptual, de cierta consistencia lógica deductiva, en torno a la cual se hipotetiza, se operacionaliza, se experimenta y se interpreta.

Es deber del científico cautelar que, desde la producción de los resultados científicos, su presentación sea estructurada de modo tal que pueda funcionar en el contexto de la enseñanza, gracias a la enseñabilidad inducida culturalmente desde la

¹ Según Flórez, R. (2005) esta concepción sobre dicho contexto de la ciencia, se contrapone a lo que puede parecer ante los ojos de algunos científicos, o de como se ha visto entre aquellos educadores cuyo quehacer docente educativo se ha orientado sólo en el cómo enseñar. Muy por el contrario, el autor señala que la enseñabilidad de la ciencia en tanto dimensión que atraviesa el proceso de investigación científica se asemeja a la manera como los sabios de la Antigüedad que producían conocimiento para ser enseñados por ellos mismos, e investigaban enseñando a la manera de la mayéutica socrática. Es más, en palabras del autor para el mismo Aristóteles la mayor prueba de sabiduría y de dominio de la ciencia era la capacidad de enseñarla, pues según él sólo lo racional es enseñable. En: Pedagogía del conocimiento. McGraw Hill. Colombia. Pág.83.

formulación científica. Es más, teniendo en cuenta que los informes de investigación desde que salen de sus manos, traen características específicas tales como objetividad, confiabilidad, validez, universalidad, reproducibilidad, intersubjetividad, etc., los cuales en primera instancia, están dirigidos a un público más o menos especializado y no al escolar, es clara la diferencia existente entre enseñabilidad de la ciencia y enseñanza de la ciencia.

La enseñabilidad de una ciencia tiene sus fundamentos tanto en la formulación como en la comunicación propia e implícita de una producción científica. Es más, el método de exposición de cada ciencia no es sobreañadido sino que es inseparable de sus métodos de investigación, tanto en lo relativo a su efecto de demostración como en su efecto de comunicación.

Reducir la enseñabilidad de la ciencia a la producción científica al estricto seguimiento de los formatos y protocolos para la presentación de proyectos e informes finales, los cuales enfatizan el orden lógico de los pasos de la investigación y las normas de sistematicidad para la elaboración de los informes, o el grado de correspondencia y de coherencia lógico-formal entre los elementos del diseño como por ejemplo, el marco teórico, los objetivos o las hipótesis, las definiciones conceptuales y operacionales, el análisis estadístico, etc.,² diluye la importancia de la comprensión y relevancia del contenido fenoménico conceptual específico que se intenta problematizar en la misma, así como también dificulta al investigador el comprender que el método es inseparable de la teoría, que es integral y unitario, que a cada investigación le es inherente su propio método, y que en la investigación es el problema (el objeto) el que tiene la primacía, y no aquél.

En resumen, la producción de un conocimiento científico por parte del investigador no sólo ha de responder a las reglas lógico-formales, de correspondencia y de verificación internas propias que impone el rigor científico, sino que también a la de hacerlo comunicable. Dicho de otra forma, en cada ciencia los efectos de demostración y de comunicación hacen inseparables sus métodos de investigación del método de exposición y, en consecuencia, el propósito intersubjetivo está presente en el proceso mismo de plasmación de los nuevos conocimientos. Así entonces, hablar de la enseñabilidad de la ciencia es aludir a una característica que deriva del estatuto epistemológico de cada ciencia y que refiere a los rasgos de racionalidad, de sintaxis y de contenido teórico experiencial de las mismas, donde el nuevo conocimiento desde su producción, más específicamente, desde su formulación científica, es estructurado para funcionar en el contexto de la enseñanza.

Estando presente el propósito intersubjetivo desde el momento mismo de la formulación científica del nuevo conocimiento, se puede afirmar que la enseñabilidad de las ciencias puede constituir el punto de partida imprescindible para la enseñanza de las ciencias, ya no de un modo formal y abstracto sino más

² Flórez, R. (2005) en su análisis acerca del desarrollo científico y la enseñanza, plantea que esta concepción acerca de la ciencia y, en particular, de la investigación científica, es propia de los pensadores positivistas, quienes se apoyaban en los hechos, en el dato observable y no en la especulación. Según el autor, la tesis filosófica implicaba en el fondo la incapacidad para reconocer la actividad del sujeto cognoscente, para reconstruir válidamente el objeto. Dicho de otra forma, el positivismo en tanto sustenta que la función del entendimiento no es otra que la de ver y captar por parte del sujeto la imagen adecuada del objeto, subvalora la actividad constructora de éste. En: Pedagogía del conocimiento. McGraw Hill. Colombia. Pág. 48 - 49.

bien desde las necesidades y características culturales y del lenguaje de los estudiantes como sujetos cognoscentes activos y concretos.

Dicho de otra forma, la enseñabilidad de los saberes de las ciencias puede ser considerada el punto de partida de la reflexión pedagógica orientada a la comprensión de por qué y cómo una ciencia requiere una enseñanza particular. Las respuestas a tales preguntas resultan fundamentales para la realización de su enseñanza.

El educador, para lograr ejercer un dominio pedagógico de la disciplina de su especialidad, requiere identificar las condiciones de su contexto de enseñabilidad, toda vez que éstas son anteriores a todo proceso didáctico. Tal desafío encuentra su fundamento en el hecho de que esta característica de la ciencia, no se reduce sólo a las condiciones de comunicación del saber generado entre los especialistas de una misma comunidad científica, sino que particularmente, a todos los rasgos que caracterizan a cada disciplina (su rigor, su racionalidad, su secuencia y lógica interna, las reglas que constituyen la sintaxis de sus proposiciones, sus grados y niveles de epistemología, su lenguaje empírico, etc.) y que provocan la curiosidad y el interés formativo del educador desde la estructura científica objeto de enseñanza. Sin lugar a dudas son estos planteamientos los que ponen de manifiesto la necesidad del educador del dominio de la ciencia que pretende enseñar, previo a formular una didáctica pertinente y específica para su enseñanza propiamente tal.

Enseñar es un proceso complejo, en tanto que los problemas que dicho proceso encierra, superan los que resuelve la propia disciplina enseñada. (Florez, R., 2005). Saber alguna de las ciencias y saber cómo enseñarlas a un grupo concreto de personas son cosas diferentes y, en consecuencia, requiere de conocimientos distintos (Aliberas, Gutiérrez y Izquierdo, 1990)³. No obstante, tal como lo plantea Flórez, R. (2005) la mayoría de los especialistas y profesores de ciencias ignoran la especificidad del contexto de enseñabilidad de las ciencias en general y la de su especialidad en particular y creen ingenuamente que el dominio científico de ésta resulta suficiente para enseñar bien.

La didactología como campo científico de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.

Diversos estudios realizados con el propósito de aproximarse a la fundamentación científica de la didáctica, sirven hoy como testimonio fehaciente de que el conocimiento científico, social e institucional de las ciencias de la educación, en general y de la didáctica, en particular, como ciencia social, es un hecho que se va **consolidando** en los ambientes científicos de nuestro entorno próximo⁴. Un primer intento por legitimar el hecho de la existencia de las ciencias sociales, ha sido avanzando al modo de proceder de las ciencias físico – naturales, motivados quizás por la idea de una ciencia unificada o, por querer compartir criterios de una misma comunidad científica. No obstante, el *factum* de existencia de las ciencias sociales, y por consiguiente, de las ciencias de la educación, entre ellas

³ Citado por Estany, A. y otros. (2001). En: Ciencia y Educación. Series Filosóficas N° 14. (Separata). Universidad Nacional de Educación a Distancia. Facultad de Filosofía. Madrid. pág. 15.

⁴ Pérez F., M. (2000), menciona entre estos estudios los realizados por Benedito (1987a, 1987b); Zabalza (1990) y Fernández, P. (1993). En: Conocer el currículo para asesorar en centros. Ediciones Aljibe. Málaga.

la didactología, no se constituye en un antecedente suficiente para demostrar su carácter de ciencia. Para lograr sustentar tal planteamiento se hace necesario revisar las condiciones que las hacen ontológica y epistemológicamente posibles. En palabras de Pérez F., M. (2000), se requiere delimitar su objeto de estudio, resolver los problemas de demarcación de la ciencia, dicho de otro modo, su concepción y problemas que plantea su desarrollo científico mediante la indagación.

Intentar establecer y demostrar el carácter de ciencia de la didactología, no es tarea fácil. La literatura es clara en afirmar la dificultad para la fundamentación de ésta como tal. Estany, A. y otros (2001), frente a la pregunta acerca de si la didactología es una ciencia señalan que es imposible dar una respuesta categórica, dada la tendencia a buscar la respuesta vinculándola con otras disciplinas como la física, la biología o la sociología. Los autores, en su intención por explicitar una respuesta a dicha interrogante recurren a las distinciones de Niiniluoto, I. (1993), entre ciencias básicas y aplicadas. Según el autor, a lo largo de la historia de la filosofía de la ciencia se ha caído en varios errores como consecuencia de la falta de distinción entre ciencia básica y ciencia aplicada. Por una parte, se ha tendido a considerar a todas las ciencias como básicas y, en tal sentido, por filosofía de la ciencia se ha entendido filosofía de las ciencias fundamentales. Por otra parte, se han tomado todas las ciencias como aplicadas y de esta manera, las reflexiones filosóficas se han extrapolado a todas las ciencias sin distinguir si éstas son básicas o aplicadas⁵.

Según la concepción de Niiniluoto, I. (1993), las ciencias aplicadas se sitúan entre las ciencias básicas y la tecnología. Así, mientras las ciencias básicas definen sus objetivos a partir de valores puramente epistémicos (básicamente verdad, información y poder explicativo), la tecnología lo hace en función de la eficiencia de los artefactos materiales y sociales para la transformación de la realidad⁶.

Por su parte, la ciencia aplicada, situada entre las ciencias básicas y la tecnología, su sería el de producir conocimiento capaz de repercutir en algún tipo de actividad humana y social e incrementar así, la efectividad del fin propuesto. En este sentido, Estany, A. y otros (2001), señalan que el valor de este tipo de ciencia está dado simultáneamente tanto por valores epistémicos como prácticos. Entre este tipo de ciencias, Niiniluoto, I. (1993), destaca las denominadas ciencias de diseño las que describe como aquellas que tienen que ver con un proyecto y, en tal sentido, su objetivo no es decir cómo son las cosas, sino cómo tendrían que ser para el logro de determinados fines y ejercer determinadas funciones.

Otra característica que distingue a las ciencias de diseño es el que cada una de ellas presenta una doble vertiente. La primera de ellas tiene que ver con los conocimientos científicos que utilizan para alcanzar el fin que se proponen,

⁵ Niiniluoto, I. (1993), ilustra este último planteamiento aludiendo a la concepción de ciencia de Habermas, J. (1971). A saber, al concebir la ciencia como una actividad humana con interés técnico para controlar el mundo atribuye a las ciencias básicas lo que propio a las ciencias aplicadas. Citado por Estany, A. y otros (2001). En: Ciencia y Educación. Series Filosóficas N° 14. (Separata). Universidad Nacional de Educación a Distancia. Facultad de Filosofía. Madrid. pág. 16.

⁶ De acuerdo a los criterios en torno a los cuales las ciencias básicas y la tecnología definen sus objetivos, Niiniluoto, I. (1993), plantea que mientras una hipótesis científica tiene un valor de verdad con o sin consecuencias, independiente de los efectos de la investigación de la realidad social u otros que promueva, la construcción de un artefacto tiene como objetivo modificar la realidad social u otras realidades. Citado por Estany, A. y otros (2001). En Ciencia y Educación. Series Filosóficas N° 14. (Separata). Universidad Nacional de Educación a Distancia. Facultad de Filosofía. Madrid. pág. 16.

conocimientos que conforman su pilar teórico y cuya valoración es eminentemente epistémica. La segunda de las vertientes se relaciona con el objetivo propuesto, siendo su valoración puramente práctica y vinculada con el campo implicado.

Estany, A. y otros (2001), plantean que la didactología, en tanto teoriza sobre la transmisión y construcción del conocimiento, así como también sobre los procedimientos que las hacen posible, sería una ciencia de diseño. Sin embargo, atendiendo al tipo de conocimiento a transmitir, esta ciencia de enseñar ciencia, tendría varias ramas, las cuales corresponderían a las didácticas específicas (por ejemplo, la didáctica de la física, didáctica de la matemática, didáctica de la biología, entre otras) y, serían éstas las que se encargarían de estudiar los mejores procedimientos y técnicas para llevar a cabo la enseñanza de los respectivos conocimientos.

En esta misma línea argumentativa, los autores antes referidos señalan que mientras lo común entre las didácticas específicas estaría dado por los principios teóricos que la fundamentan, toda vez que la transmisión y construcción del conocimiento científico en general es atribuible a un conocimiento científico particular (sea este de física, química, u otro); lo distinto entre ellas se encontraría en el nivel didáctico, considerando que dicho aspecto responde a las diferencias entre las disciplinas científicas. Es así como los autores señalan que la relación entre la didactología y las didácticas particulares tiene que ser de mutua interacción, es decir, ni una didactología a priori desvinculada de las didácticas particulares ni unas didácticas particulares sin fundamento teórico.

Delimitada la didactología como una ciencia de diseño, en orden a los principios teóricos que la fundamentan y el fin a alcanzar, Estany, A. y otros (2001), la describen como una ciencia cuyo objeto de estudio lo constituyen los fenómenos de enseñanza de las disciplinas científicas, las condiciones de transmisión y construcción de la cultura científica y la adquisición de conocimientos por parte del aprendiz. En tal sentido, esta ciencia asume como objetivo de su quehacer la transmisión de conocimientos y de valores a los individuos de una sociedad en el marco de una cultura determinada.

Fundamentación teórica de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

Aún cuando no existe evidencia que la dinámica de la actividad cognoscitiva del sujeto individual sea idéntica a la lógica del desarrollo científico, en el caso particular de la didáctica de las ciencias, persisten unas tradiciones docentes muy enraizadas que consideran la enseñanza como una tarea simple, para cuya realización basta con conocer la materia, tener alguna práctica docente y, a lo sumo, adquirir algunos conocimientos pedagógicos de carácter general (Gil, D., 2000). Reafirman este planteamiento Estany, A. y Izquierdo, M. (2001), señalando que el educador sólo después que logra un posicionamiento, un conocimiento comprensivo de los contenidos, es posible que avance en la reflexión acerca de cómo transmitirlos y sobre cómo crear las condiciones que permitan su adquisición por parte del que aprende.

En esta misma línea argumentativa, Gil, P., D. (2000), cita a Lin (1987), quien señala que algo que ha marcado la emergencia de la didáctica es la tendencia a la

reincidencia de propuestas en materia de innovación e investigación en didáctica, que han mostrado su ineficacia a tratamientos puntuales, carentes de fundamentación⁷. Según Gil, P., D. y otros (2000), esta situación ha dificultado la necesaria coherencia entre los tratamientos dados a los diferentes aspectos del proceso de enseñanza/aprendizaje, entre los cuales señala el aprendizaje de conceptos, las prácticas de laboratorio, la resolución de problemas, la evaluación, etc. e incluso ha conducido a ignorar los trabajos realizados por otros en un mismo campo. No obstante las implicancias de tales estrategias en el desarrollo de la didáctica, no necesariamente se constituyen en motivo para llegar a establecer una total incompetencia de quienes así han obrado, por el contrario, el autor en referencia plantea que dicho comportamiento es propio a cualquier dominio en el que no existe tradición científica y que, en la medida en que dichos problemas no logran resolverse y las dificultades y la necesidad de darles solución se acumulan, tales tratamientos favorecen el desarrollo de esfuerzos más sistemáticos y, con ello, la conducción de la emergencia de un nuevo campo de conocimientos.

Es así como en el caso de la emergencia de la didáctica como nuevo campo de conocimiento se hace necesario no sólo tener en consideración en cuanto antecedentes, sino que también modificar estas tradiciones docentes que han prevalecido y caracterizado la forma acerca de cómo concebir la enseñanza de la ciencia. Es más, se postula la necesidad de corregir las insuficiencias constadas en el currículo de formación de profesores en lo relativo a la tendencia de separar en dicho proceso los contenidos científicos de los contenidos pedagógicos, por un currículo estructurado de modo tal que dichos aspectos se aborden de un modo global, integrado, de los problemas específicos que plantea el proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias (McDermott, 1990)⁸.

Limitar la comprensión de la problemática de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias al dominio de los conocimientos científicos, algo de práctica docente y de nociones pedagógicas básicas, implica la reducción a una concepción exclusivamente práctica de la didáctica de las ciencias, en el sentido que su quehacer respecto de su objeto de estudio y objetivo como disciplina científica se restringe a la sola aplicación de los conocimientos teóricos elaborados por las ciencias de la educación, situación que también se convierte en un serio obstáculo para su desarrollo como campo específico de conocimientos con capacidad para tratar los problemas de enseñanza y aprendizaje de las ciencias (Gil, Pérez, J. y otros, 2000).

Teniendo en consideración que son también objetivos de la didactología el decidir qué tipo de ciencia enseñar y cuáles son los componentes de la educación científica, el cumplimiento de éstos demanda a la misma sustentarse además de los modelos propiamente didácticos (como lo son las técnicas concretas de la

⁷ Lin (1987) denomina a este hecho la "amnesia crónica. Citado por Gil (2000) En: Didácticas de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias. Marfil Alcoy. España. pág.13.

⁸ Citado por Citado por Gil, P. D. y otros (2000) En: Didácticas de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias. Marfil Alcoy. España. pág.14.

transposición didáctica), en los aportes que hacen la psicología cognitiva, la historia de la ciencia, en la filosofía de la ciencia y, en la sociología, como campos afines⁹.

El contrato didáctico.

Los fundamentos teóricos de la didactología, es decir, los conocimientos científicos que utiliza en orden a sus propósitos sobre la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, se canalizan en lo que se conoce como el contrato didáctico. Estany, A. y otros (2001), lo definen como la unidad de transmisión del conocimiento donde confluye la fundamentación teórica de la didactología. Joshua y Dupin (1993)¹⁰, señalan que en el proceso de transmisión del conocimiento tres son los elementos que intervienen: el profesor, el alumno y el saber.

De esta manera, el objetivo de la enseñanza de las ciencias se traduce en comprender la interacción entre estos tres elementos y cómo tiene que ser el contrato didáctico para hacer que la enseñanza sea operativa. El proceso de desarrollo de dichos objetivos hace emerger algunas interrogantes que ponen en evidencia la necesidad de la didactología de recurrir a otros campos disciplinares de conocimiento, en el contexto de una relación interdisciplinaria, para efectos de encontrar respuestas a las mismas. Entre estas interrogantes se plantean el ¿qué enseñar?, ¿Cuándo enseñar?, ¿cómo enseñar? y ¿cómo evaluar los resultados? .

Respecto de los campos de conocimiento con los cuales la didactología mantiene nexos interdisciplinares se explicitan las propias disciplinas que dan cuenta de las respectivas materias científicas a enseñar, la historia y la epistemología de dichas materias, la sociología, la psicología y los modelos cognitivos, la pedagogía, la propia práctica profesional, la tecnología y los modelos didácticos, los que en su conjunto conforman los campos estructurantes de la didactología.

La psicología cognitiva, en tanto pilar teórico de la didactología, contribuye a la comprensión de la relación profesor-alumno, en particular del conjunto de operaciones que concurren en la actividad cognitiva del alumno enfrentado a la tarea de dominar los contenidos de aprendizaje.

La filosofía de la ciencia, en tanto reflexión metateórica de la ciencia, es otro de los campos disciplinares con que la didactología mantiene nexos interdisciplinares. Este campo disciplinar tiene que ver con la relación profesor-saber y alumno-saber, en el sentido que, aún cuando es el profesor quien transmite el conocimiento al alumno, dicho conocimiento no es comunicado en bruto, sino que de manera reconstruida. Enfrentado el profesor a este desafío es que encuentra en la filosofía de la ciencia una guía para abordar el proceso de reconstrucción del conocimiento a transmitir.

⁹ Estany, A. y otros (2001), refieren a la Psicología cognitiva, la historia de la ciencia, la filosofía de la ciencia y la sociología, como pilares teóricos fundamentales de la didactología. En: Ciencia y Educación. Series Filosóficas N° 14. (Separata). Universidad Nacional de Educación a Distancia. Facultad de Filosofía. Madrid. pág. 19.

¹⁰ Citado por Estany, A. y otros (2001), En: Ciencia y Educación. Series Filosóficas N° 14. (Separata). Universidad Nacional de Educación a Distancia. Facultad de Filosofía. Madrid. pág. 18.

La historia de la ciencia como pilar teórico de la didactología, en particular, para la enseñanza de la ciencia, cobra sentido dado el carácter histórico de la ciencia como tal. Desde esta perspectiva entonces, en su enseñanza, se ha de asumir que dada su condición dinámica los conceptos y teorías son reemplazados por otros y que los marcos ideológicos que fundamentan largos periodos del conocimiento producido por la misma sufren igualmente el mismo proceso (Gil, P. D. y otros, 2000).

Por último, los modelos cognitivos de ciencia, surgidos por el impacto de las ciencias cognitivas en la filosofía, cobran especial relevancia en la fundamentación de la intervención docente en ciencias, en términos de su aporte al conocimiento del origen y formación del conocimiento humano. Estany, A y otros (2004), respecto de este pilar teórico fundamental plantean que su importancia para la comprensión de la enseñanza de las ciencias radica en que en ellos están contemplados a la vez los aspectos epistemológicos y psicológicos.

Conclusiones.

Una de las necesidades de las ciencias es la de difundir sus conocimientos y resultados alcanzados desde sus respectivos paradigmas a través de la comunicación y la enseñanza. Esta necesidad de intersección cultural de la producción científica deriva del propio análisis de la ciencia que la genera, dicho de otra forma, la enseñabilidad de la ciencia está presente desde el momento mismo de la formulación científica del nuevo conocimiento y, en tal sentido, se puede afirmar que ella constituye el punto de partida imprescindible para la enseñanza de las disciplinas científicas.

La ciencia que asume como objeto de estudio la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias es la didactología. Específicamente esta disciplina científica se orienta al estudio de los fenómenos vinculados a la enseñanza de las ciencias y de las condiciones que se requieren tanto para la transmisión de los conocimientos generados por éstas, como para su adquisición por parte del que aprende.

En tanto la didactología teoriza acerca del proceso de transmisión y construcción del conocimiento producido por las ciencias, así como también respecto de los procedimientos que los hacen posibles, puede ser clasificada como una ciencia de diseño, en el sentido de una ciencia con un proyecto o propósito a conseguir.

Según sea el tipo de conocimiento a transmitir, se distinguen variadas ramas de la didactología, las cuales constituyen las denominadas didácticas especiales. La diferencia entre la didactología y las didácticas especiales responde fundamentalmente al hecho que éstas últimas son realizaciones específicas e inmediatas de aplicación en la situación de enseñanza, relacionadas con ambientes didácticamente configurados.

La unidad de transmisión y construcción del conocimiento en que confluyen los pilares teóricos fundamentales de la didactología y los objetivos que se persiguen con la enseñanza de las ciencias es el contrato didáctico, siendo los elementos que intervienen en este proceso de transmisión y construcción de conocimiento el profesor, el alumno y el saber.

A la tarea de la didactología de transmitir y construir conocimiento se suman también las de tener que decidir qué tipo de ciencia enseñar y cuáles han de ser los componentes a considerar en la educación científica. Considerando que para el cumplimiento de tales propósitos, se requiere del aporte de otros campos del conocimiento, esta ciencia de enseñar ciencias, establece nexos interdisciplinarios con otras ciencias, las que en su conjunto configuran sus pilares teóricos fundamentales. Entre estas disciplinas afines se encuentran la psicología cognitiva, la historia de la ciencia, la filosofía de la ciencia, la sociología, los modelos cognitivos de ciencia y los modelos didácticos.

La emergencia de la didactología como un nuevo campo disciplinar de las ciencias de la educación, que hace suyo como objeto la enseñanza de las ciencias desde sus propios estatutos epistemológicos, así como también con otros campos disciplinares con los cuales mantiene nexos interdisciplinarios, pone en evidencia que el fenómeno de la enseñanza de las disciplinas científicas es un proceso complejo en tanto implica no sólo el saber alguna ciencia, sino que también saber cómo enseñarla, aspectos que además de ser distintos, implican además conocimientos diferentes.

Enfrentados a este nuevo escenario respecto de la enseñanza de las ciencias, cabe preguntarse ¿Cuál es la concepción de los profesores del sistema escolar acerca de la enseñanza de las ciencias? ¿Cuál es el modelo didáctico que subyace a las prácticas pedagógicas de aula de los profesores al momento que asumen el rol de enseñantes de ciencias? ¿Cuál es el nivel de competencia que los profesores del sistema escolar tienen respecto de los saberes fundamentales que implica la enseñanza de las ciencias? y ¿Cómo incorporar en el proceso de formación tanto inicial como continua de educadores de ciencias, los conocimientos relacionados con los campos disciplinares que configuran los pilares teóricos fundamentales de la didactología?.

6.- Bibliografía.

ADURIZ, B. A. (1999): Elementos de teoría y de campo para la construcción de un análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias. Tesis para optar al grado de Maestría en Didáctica de las Ciencias. Universidad Autónoma de Barcelona. España.

DE CAMILLONI, A. Y OTROS (2004): Corrientes didácticas contemporáneas. Paidós. Argentina.

DÍAZ, M. E. y QUIROZ, P. R. (2002): Reflexiones teóricas sobre la relación entre la pedagogía y la didáctica. Lecciones Inaugurales. Facultad de Educación. Departamento de Pedagogía. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia.

ESTANY, A. Y OTROS. (2001): Ciencia y Educación. Series Filosóficas N° 14. (Separata). Universidad Nacional de Educación a Distancia. Facultad de Filosofía. Madrid.

- FLÓREZ, R. (2005): Pedagogía del conocimiento. McGraw Hill. Colombia.
- GIL, P. D. y otros (2000): Didácticas de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias. Marfil Alcoy. España.
- MARTIN, M. F. (1999): La didáctica ante el tercer milenio. Editorial Síntesis. España.
- OLIVA, G. J. (1996): Crítica de la razón didáctica. Materiales para el diseño y desarrollo del currículo. Playor-Educación. Madrid. España.
- PÉREZ F., M. (2000): Conocer el currículo para asesorar en centros. Ediciones Aljibe. Málaga.

Capítulo 2

Aproximaciones a la evolución del concepto ‘Geografía’ desde el modelo de S. Toulmin. desde los griegos hasta Kant.

Paloma Miranda Arredondo
Pontificia Universidad Católica de Chile
Chile

Resumen

En este capítulo se presenta una aproximación a la evolución del concepto “Geografía” en la historia del pensamiento geográfico, desde que Eratóstenes de Cirene (230 a. C.) acuñara por primera vez el término Geographiké hasta que Kant (1780 d.C.) le proporcionara a la disciplina que lleva dicho nombre los lineamientos epistemológicos necesarios para configurarse como ciencia. En esta ocasión se ha recurrido al modelo de cambio conceptual de Stephen Toulmin, como metodología de análisis, por lo que la investigación se sitúa en el área de la racionalidad del cambio científico y con ello de la Historia de la Ciencia.

Abstract

In this article an approach to the evolution of the concept appears “ Geography ” in the history of the geographic thought, ever since Erathostenes de Cirene (230 a. C.) it coined the Geographiké term for the first time until Kant (1780 d.C.) it provided to him to the discipline that takes to this name the epistemologic lines necessary to form themselves like science. In this occasion one has resorted to the model of conceptual change of Stephen Toulmin, like analysis methodology, reason why the investigation is located in the sector of the rationality of the scientific change and with it of the History of Science

Palabras claves: Pensamiento geográfico, cambio conceptual, cambio científico, historia de la Ciencia.

Introducción.

“Lamentablemente el interés por la historia de la Geografía ha sido escaso. Las historias de la Geografía han sido obras esporádicas. Este desinterés tiene que ver con una disciplina donde ha primado y prima el empirismo y en la que la reflexión sobre sus fundamentos teóricos y sus antecedentes, como cultura y práctica del espacio ha tenido escaso eco” (Ortega, 2000: 13). Con ello, en las oportunidades que se han realizado investigaciones sobre el desarrollo del pensamiento geográfico o la historia de la ciencia geográfica, o bien se ha hecho desde un lectura precentista, o bien se ha realizado desde una lectura revolucionaria, siguiendo lo planteado por Thomas Kuhn en su “Estructura de las revoluciones Científicas”¹¹.

De este modo, “conviene decir que los historiadores de la ciencia geográfica pueden agruparse en dos apartados: en primer lugar, los que explican la historia de la Geografía subrayando la continuidad de su evolución, como un desarrollo lineal y siguiendo etapas cronológicas. La Geografía [por lo tanto] no se relaciona ni con la filosofía ni con la sociedad...de tal forma que es una historia sobre la base de autores que han seguido el “recto camino” y no se repara en los desacarriados” (Estébanez, 1981: 133), siendo aquí especialmente destacado el papel de R. Hartshorne y Hettner. Y en segundo lugar, “el grupo de historiadores de la Geografía que presenta nuestra ciencia sometida a conmociones y revoluciones que cuestionan y eliminan los valores y conceptos tradicionalmente aceptados” (Estébanez, 1981: 134) destacando en la aplicación de esta teoría de cambio científico a la Geografía, autores tales como: Crone, Wrigley, James, siendo especialmente destacado el análisis de Harvey en el año 1973.

Sin embargo, a partir de los aportes que ha hecho la historiografía, así como los aportes de la filosofía y la historia de la ciencia, ya no es posible seguir pensando que el progreso científico se ampara sólo en uno u otro de los modelos antes presentados.

Es por esto que resulta trascendental el análisis y aplicación de otros modelos de cambio o, si se quiere, progreso científico a la historia de la Geografía. Siendo una gran contribución desde la filosofía de la ciencia, el modelo de cambio conceptual propuesto por Stephen Toulmin en 1977. Quien plantea que “cada uno de nosotros piensa sus propios pensamientos, pero los conceptos los compartimos con nuestros semejantes” (Toulmin, 1977: 49). Desde esta perspectiva, los conceptos permiten una aproximación a las representaciones que tienen las comunidades sobre las diversas disciplinas, por cuanto “los conceptos representan formas de vida y de pensamiento, comprensión y expresión corrientes en nuestra sociedad” (Toulmin, 1977:53). Modelo que además, por presentar un carácter evolutivo permite observar las variaciones que dichos conceptos tienen a lo largo del tiempo sin la necesidad de caer en la historia lineal ni mucho menos en la radicalidad de las revoluciones científicas.

De esta forma, lo que esta investigación expone es una aproximación a la evolución del concepto “Geografía”, partiendo del supuesto que si el concepto presenta variaciones es por que la disciplina misma ha evolucionado, por lo que se aplica el

¹¹ Kuhn, T. (1962) “The Structure of Scientific Revolutions”, The University of Chicago. Traducción al castellano por Agustín Contín, “La Estructura de las revoluciones Científicas”, Fondo de Cultura Económica, México. 1971.

modelo de cambio conceptual y científico planteado, como ya se ha dicho anteriormente, por S. Toulmin en su libro “La comprensión humana”¹².

Se ha elegido el concepto “Geografía” por ser un concepto gravitante para la ciencia que lleva dicho nombre y porque estudios anteriores, tales como los realizados por Valenzuela en 1998 (en Santis, 2000) y los realizados por Miranda, P; Robles, M. y Vergara, A. en diciembre del año 2005, han planteado múltiples formas de interpretar y definir este concepto, demostrando así la coexistencia de paradigmas que muchas veces plantean fuertes resistencias a la valoración y al aprendizaje de la Geografía. Asimismo autores como José Ortega (2000) lo han definido como polisémico por esencia.

No obstante, es menester plantear que, lo que aquí se expone son los primeros resultados de una investigación de largo aliento que pretende incorporar toda la historia del vocablo Geografía, desde los griegos hasta nuestros días, haciendo especial hincapié en los grandes desafíos epistemológicos que plantea la fuerte incorporación de tecnologías avanzadas al estudio geográfico como lo son los Sistemas de Información Geografía (SIG) para la mantención del estatuto científico de la Geografía. Es por esta amplitud de la investigación que, se ha decidido exponer los resultados en dos partes diferentes. Una primera parte (que es la que aquí se presenta) desde los griegos, aproximadamente en el siglo II a. C., hasta Kant en el siglo XVIII. Y una segunda parte que se extiende desde el siglo XVIII hasta la actualidad.

Asimismo, el artículo se expone según tres ejes principales. En primer lugar algunas especificaciones sobre el cambio conceptual y el cambio científico según el modelo de S. Toulmin; en segundo lugar algunas aproximaciones a la evolución del concepto “Geografía” en la historia y; en tercer lugar la aplicación del modelo de cambio conceptual al concepto “Geografía”. Así, la investigación que aquí se presenta se encuentra inserta en los estudios de Historia de la Ciencia, particularmente de la Geografía, que posibilitan las producciones metateóricas, desde una racionalidad moderada¹³.

Algunas consideraciones sobre el modelo de S. Toulmin como análisis histórico.

Toulmin, a diferencia de otros autores plantea la explicación del cambio científico en términos de cambio conceptual. Es por esto que dicho modelo “se inserta de lleno en la dinámica entre historia y filosofía de la Ciencia y tiene en cuenta los siguientes presupuestos fundamentales: por un lado, no considerar la historia de la ciencia como un marco que determine unívocamente las posibilidades de producción metateórica; por otro, adoptar como criterio de evaluación de cualquier modelo metateórico la contrastación con la historia de la ciencia” (Izquierdo, M. y Estanny, A. 1990: 351). Así mismo Toulmin plantea que:

“los conceptos desempeñan su papel en la vida de los individuos y apenas tienen realidad alguna, aparte de estos roles. Al mismo tiempo, los usuarios de conceptos individualmente adquieren los conceptos dentro de un contexto social, los conjuntos de conceptos que emplean también desempeñan

¹² S. Toulmin, (1977) La comprensión humana. 1. El uso colectivo y la evolución de los conceptos. Madrid. Alianza Universitaria.

¹³ La aplicación de este tipo particular de metodología de análisis metateórico, si bien pareciera ser original en el ámbito de las Ciencias Sociales, no lo es para el ámbito de las Ciencias Experimentales donde ya ha sido aplicado con anterioridad por Mercé Izquierdo, Anna Estany, Mario Quintanilla y Manuel Uribe, entre otros. Destacando la importancia de este tipo de investigaciones en el ámbito de la Didáctica.

papeles identificables en la vida de las comunidades humanas, sean sociedades, congregaciones o profesiones” (Toulmin, 1977:50)

La Teoría de la Comprensión humana se basa por completo en la teoría de la evolución de Darwin como modelo análogo para estudiar la evolución de los conceptos científicos y también de las diferentes disciplinas y ciencias. Por ello, Toulmin lo expone de la siguiente forma:

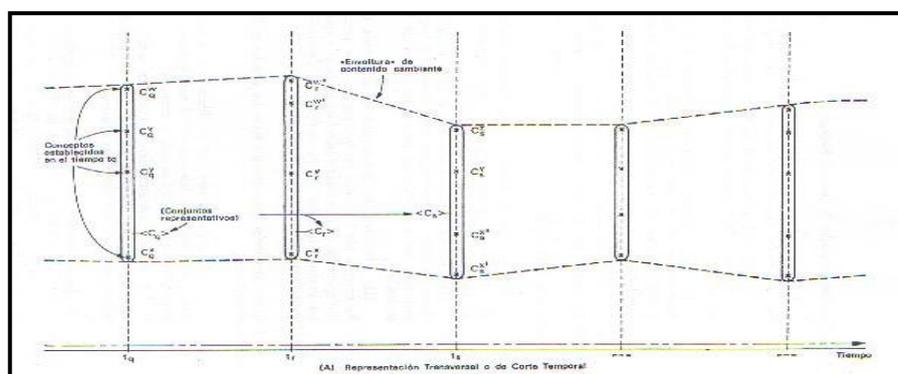
“Las disciplinas científicas, como las especies orgánicas, son ‘entidades históricas’ en evolución y no seres eternos” (Toulmin, 1977:151)

Además, presenta el proceso histórico del cambio conceptual en las disciplinas intelectuales en términos de un modelo de población conceptual, considerando que:

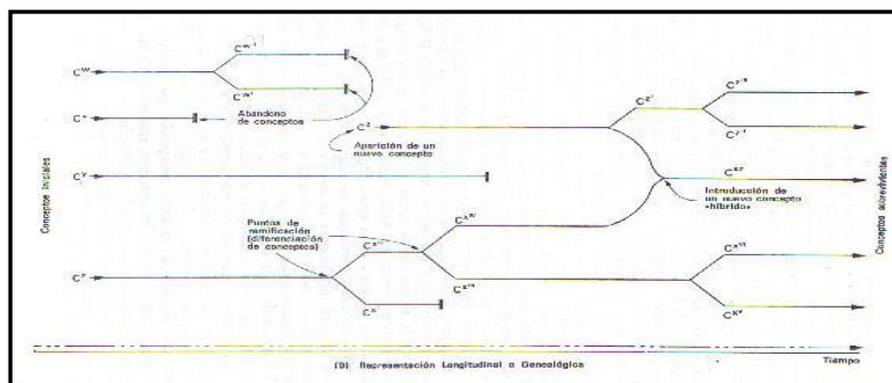
Los conceptos integran agregados, sistemas o poblaciones conceptuales que emplean colectivamente las comunidades de “usuarios de conceptos”(Toulmin, 1977:41)

Este modelo, entonces, puede ser representado de tres maneras alternativas y no excluyentes entre sí. Así, plantea un modelo temporal o transversal, un modelo longitudinal o genealógico y un modelo evolutivo que se tensiona entre la innovación y la selección. Para cada uno de ellos, Toulmin se refiere de la siguiente manera:

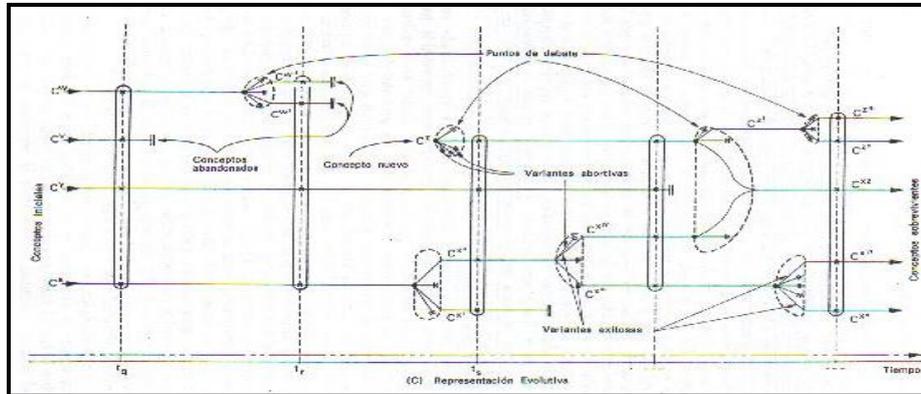
“Podemos tomar cortes de tiempo sucesivos a través del contenido intelectual de la disciplina, analizando una secuencia de ‘conjuntos representativos’, que abarquen la totalidad de los conceptos vigentes en la disciplina en tiempos sucesivos” (Toulmin, 1977:207)



“Alternativamente, podemos considerar la aparición, el desarrollo posterior y el destino ulterior de conceptos particulares a lo largo de toda la historia de su vida, analizando en el proceso un conjunto de genealogías de conceptos particulares” (Toulmin, 1977:207)



“O también podemos combinar esos dos modelos de análisis y rastrear el desarrollo genealógico de todos los conceptos importantes a través de una sucesión de conjuntos representativos...analizando el resultado de un proceso dual de variación conceptual y selección intelectual” (Toulmin, 1977:207)



Como hemos visto hasta ahora, para Toulmin las innovaciones conceptuales sólo pueden ser entendidas en relación a los problemas no resueltos de la ciencia o disciplina implicada, de modo que los conceptos colectivos derivan de la significación del uso que los científicos hacen de ellos como actividad explicativa, por lo tanto, lo que configurará los problemas científicos será la distancia que exista entre el ideal explicativo de la ciencia y las posibilidades reales de su investigación. A partir de esto, Toulmin distingue cinco tipos diferentes de problemas ó fenómenos y, tres maneras distintas para resolverlos, dando origen a quince prototipos de variaciones conceptuales.

De esta forma los problemas se pueden clasificar del siguiente modo:

“a) Siempre hay ciertos fenómenos que la ciencia de la naturaleza puede esperar razonablemente explicar, pero para los que ningún procedimiento disponible proporciona todavía un tratamiento exitoso...b) siempre hay fenómenos que pueden ser explicados hasta cierto punto usando procedimientos explicativos corrientes, pero con respecto a los cuales los científicos desearían explicaciones más completas o precisas...c) comprende los problemas que se presentan cuando consideramos la mutua relación de diferentes conceptos co existentes en una misma rama de la ciencia...d) incluye los que conciernen a la mutua relación de conceptos de diferentes ramas de la ciencia...e) estos problemas surgen de conflictos entre conceptos y procedimientos corrientes de las ciencias especiales y las ideas y actitudes corrientes para la gente y en general” (Toulmin, 1977: 198)

Para cada uno de estos cinco tipos de problemas ya mencionados, existen, como ya se ha dicho anteriormente, tres formas distintas de resolverlos. Estas formas son: Refinando a terminología, introduciendo nuevas técnicas de representación o bien, modificando los criterios para identificar casos a los que sea aplicable las técnicas corrientes.

No obstante todo lo anterior, hay que tener cuidado en no entender lo propuesto por Toulmin como una mera rejilla de descripción de los cambios conceptuales, por cuanto la teoría que él propone es mucho más ambiciosa que eso, ya que trata de encontrar explicaciones y justificaciones para el cambio y progreso científico demostrando y fundamentando la racionalidad de los científicos y su empresa. Es por esto que señala que:

“Las mutaciones conceptuales son siempre asunto de evaluación...”(Toulmin, 1977:233)

Sin embargo, también está conciente de que muchas veces las motivaciones para el cambio pueden no estar tan claras como presupone un accionar puramente racional del científico y su comunidad. De ahí se deriva que se distingan casos claros, donde los cambios son de tipo rutinario, y donde los criterios de selección están visiblemente definidos. Y casos nebulosos o cambios extraordinarios donde cabe la duda sobre la misma racionalidad que permite incorporarlos.

Es importante destacar aquí, que, a pesar de lo que plantean autores que se encuentran en desacuerdo a la teoría de Toulmin, debido principalmente a la poca incorporación en su teoría de los aspectos subjetivos de los científicos, él responde que siempre está la posibilidad de formular una serie de restricciones objetivas y puntualiza que la intervención de juicios personales no implica subjetividad sino relatividad, (Toulmin, 1977) haciendo una clara distinción entre estos dos elementos.

Es por esto, que plantea que la ecología intelectual está influida tanto por las exigencias de las situaciones problemáticas, como las exigencias ecológicas de adaptación. Es decir, la selección está más bien dada por los criterios y racionalidades de cada disciplina científica que decide adoptarlas frente a ciertas situaciones problemáticas donde ya no se logran explicar estas situaciones del todo. Mientras que las situaciones que permiten la innovación y la permanencia de dichas transformaciones tienen que ver más con el contexto social e histórico en el cual el científico o la comunidad científica se desenvuelve. Así:

“Las cuestiones sobre los criterios de selección para juzgar las variaciones conceptuales están más cerca del extremo interno, mientras que las cuestiones concernientes a las ocasiones para la innovación científica caen más cerca del extremo externo” (Toulmin, 1977:310)

Ahora bien, ciertamente la propuesta de Toulmin representó un gran aporte a la filosofía e historia de la ciencia y con ello a la Didáctica, sin embargo, como didactólogos estamos conscientes de que son muchos los factores que tienen fuerte incidencia en los cambios conceptuales y científicos, siendo difícil distinguir entre los factores internos o externos que han condicionado dicha variación. “Del mismo modo, es importante señalar que la ciencia es un proceso de constitución del saber con dimensiones no sólo históricas, sino también sociales y culturales que derivan en posicionamientos o paradigmas específicos (modelos) de su epistemología, divulgación y enseñanza, así como de marco valóricos socialmente compartidos y consensuados por la comunidad científica” (Quintanilla, 2005)

El concepto de “Geografía” en la historia, desde la Grecia Clásica hasta Kant.

El vocablo **Geografía** (gr. Geographiké; lat. Geographia; ing. Geography; al. Geographie; fr. Geographie.) tiene una historia casi tan antigua como la historia misma de la humanidad. Además tiene la particularidad de que “no significa lo mismo para todos los usuarios y tiene una amplia variedad de acepciones o aplicaciones...[incluso] los mismo geógrafos difieren en su entendimiento del significado del término” (Ortega, 2000: 14).

Esta expresión tiene un carácter milenario derivada de la tradición cultural del pensamiento geográfico heredada de Grecia y que desde entonces tiende a imbricarse y

a solaparse con acepciones propias de la cartografía, la cosmografía o la corografía. Esto se explica porque el nacimiento del concepto se configura como un esfuerzo de **representación del mundo** que es denominado “Geografía”. De este modo, los griegos, desde Anaximandro de Mileto; quien fuera discípulo de Tales de Mileto, el gran innovador metodológico de la ciencia griega; en el siglo VI a. C, en su obra “*Sobre la naturaleza*” junto a Hecateo de Mileto (600-500 a. C) en su obra “*Viaje alrededor de la Tierra*” ó “*Gês periodois*” se esfuerzan por idear y tratar de darle objeto y objetivos, a esta práctica de representación del mundo, aún cuando no han llegado a nominarla. En el mundo griego se reflexiona sobre los fenómenos terrestres en su relación con el cosmos y la naturaleza que les rodea, sentando las bases de lo que será la Geografía por muchos siglos en el mundo occidental.

Sin embargo, va a ser Erátostenes de Cirene (230 a.C.) quién nominará este esfuerzo de reconfiguración y representación espacial como Geografía o en griego Geographiké (Santis, 2000: 11) en su obra “*Hipomnemata geographika*” o *Memorias geográficas*. Así, el término Geografía es una combinación de las palabras γη que significa tierra y γράφω que significa escribir o describir. “En términos literales, Geografía sería pues, la descripción de la Tierra” (Unwin, 1995: 76) A partir de ello, para Eratóstenes la Geografía es una **representación gráfica del mundo conocido**, que tiene dos dimensiones fundamentales. En primer lugar una dimensión que tradicionalmente ha sido catalogada como matemática o cosmográfica y, una segunda dimensión expresamente gráfica de la Tierra que permita localizar los puntos de la superficie terrestre, que es lo que tradicionalmente se ha conocido como mapa.

Posteriormente, Posidonio de Apamea (135-51 a. C) quién escribió “*Sobre el océano*” hace hincapié en la Geografía como **descripción de las transformaciones que ocurren en la superficie terrestre**, de modo que “esboza una concepción geográfica de carácter territorial, preocupada por definir y establecer espacios diferenciados en el conjunto de elementos físicos” (Ortega, 2000). No obstante, la Geografía, como representación del mundo no podrá escapar de su semejante cartográfico, lo que conducirá a que ambas disciplinas se encuentren directamente relacionadas y confundidas incluso hasta nuestros días, de tal modo que hacer Geografía equivale a diseñar cartas o mapas (Gémimo, 1975).

De este modo, “hacia finales de la era helenística y comienzos del dominio romano en el mediterráneo, la Geografía se ocupaba de la descripción topográfica del mundo, así como de aspectos astronómicos y teleológicos” (Unwin, 1995, 82).

Sin embargo, la tradición de tipo más descriptivo, será seguida principalmente por los historiadores como Heródoto, Polibio y Artemidoro, siendo especialmente desarrollada por Estrabón de Amasia (60 a. C-21 d. C) para quien la Geografía será una **descripción ordenada de territorios y lugares de la superficie terrestre, de sus regularidades y procesos pero siempre considerándola como el marco dónde se desenvuelven las acciones humanas** (Ortega, 2000) de modo que logra integrar los aspectos matemáticos y cartográficos con los aspectos territoriales en su obra “*Geografía*” que consta de 17 volúmenes. Asimismo expone:

“Lo que pretende el geógrafo es exponer las partes conocidas de la Tierra” (II, 5, 17)

Además va a definir a la Geografía como una disciplina de valor político:

“la Geografía es una disciplina que pertenece en gran parte al dominio de lo político...toda Geografía es una preparación para las empresas de gobierno pues describe los continentes y los mares internos y externos de toda la tierra habitada” (I, 16)

Totalmente diferente a los trabajos de Estrabón, es la Geografía de Claudio Ptolomeo (90-168 d. C) quien la define como:

“un bosquejo que imita esa parte de la Tierra que conocemos como un todo, con las distintas secciones añadidas a grandes rasgos” (Rylands, 1983. En Unwin, 1995: 86)

Es por esto que, Ptolomeo va a diferenciar aquella descripción topográfica a lo que denominará corografía y separará estrictamente de lo que concibe como Geografía, encargándose esta última de los **intereses matemáticos y astronómicos**.

No obstante, si bien, la concepción de Geografía que presenta Ptolomeo no presenta elementos nuevos, sus escritos y creencias serán dominantes durante el período romano, no incorporándose durante todo este ciclo elementos realmente novedosos al concepto “Geografía” ni a la disciplina. Esto nos permitirá caracterizar al período griego como un período de innovación y al período romano como un período estanco y utilitario. Ahora bien, sería interesante introducirse con mayor profundidad en la definición de Geografía de Roma, por cuanto llama la atención que debido a sus características militares y expansionistas no hayan rescatado con más fuerza los aportes de Estrabón, quién rescataba por sobre todo el aspecto politológico de la disciplina geográfica.

Estas diversas formas de entender el concepto Geografía van a significar tradiciones incluso en la forma de entender la disciplina y se van a mantener y desarrollar por más de dieciocho siglos de historia de la ciencia geográfica. Con ello, de esta herencia clásica podemos visualizar diversas tradiciones claramente identificables, así por ejemplo, “Ptolomeo identifica, en la tradición cultural de Occidente, la imagen de la Tierra como un conjunto ordenado de lugares, definidos por su posición, y con ello la representación cartográfica del espacio terrestre, en diversas escalas. El conjunto de la Tierra-que él identifica con la Geografía- y, las escalas regional y local- que vincula con la corografía y la topografía- Siempre entendida como una representación cartográfica. Estrabón, en cambio, es el geógrafo que proyecta la representación como un discurso” (Ortega, 2000: 57)

Prontamente el mundo islámico retomará los aportes de los griegos y particularmente los de Ptolomeo, sin embargo, para los árabes, la representación de la Tierra será inseparable de los signos, las propiedades de las cosas y las maravillas que resultan de ellas, así como la concepción religiosa del mundo (Ortega, 2000) Esto implicó que el término Geografía siguiera entendiéndose en la concepción árabe *como una representación cosmográfica del mundo, incorporando elementos novedosos como la descripción de elementos administrativos o de características agrarias y económicas*.

De esta forma, el concepto de Geografía de los árabes será la descripción de los territorios islámicos con un cierto orden, pero siempre respondiendo a la imagen cosmográfica y religiosa del mundo. Esto explica que no existan grandes diferencias entre los escritos de Al Balki, Al Istakhri, Ibn Hawqal y Al Muqaddasi, durante el siglo X, y la obra de Al Idrisi durante el siglo XII. Asimismo, es indispensable señalar que si

bien los árabes siguen la tradición descriptiva de los griegos, agregan un elemento que será trascendental posteriormente en el mundo cristiano y que serán uno de los elementos que dificultará mayormente la consecución del estatuto epistemológico de la Geografía como ciencia durante los siglos XVIII y XIX. Por cuanto, la Geografía árabe incorporó dentro de la descripción del mundo conocido, la descripción de maravillas del mundo que en muchas ocasiones no fueron reales.

Durante la época de los descubrimientos, se experimentan cambios sustanciales en el ámbito de la cartografía que serán muy importantes para el desarrollo del término, pues contribuirán a separarse definitivamente, a la cartografía y a la Geografía, por lo menos en un ambiente intelectual. Así se deja atrás las representaciones cartográficas medievales amparadas en la experiencia, para adentrarse en una cartografía de tipo abstracto (Jameson, 1991) Igualmente, encontraremos en la bibliografía que los aportes de esta época serán remitidos en su totalidad a la cartografía haciendo una expresa diferenciación entre cartógrafos y geógrafos.

Ahora bien, la Geografía concebida como descripción, en esta etapa se muestra como una amplitud de estudios que van desde lo cosmográfico hasta lo local, esto derivado de la tradición medieval influenciada por las representaciones árabes que como hemos visto incorporaban también a la Geografía la descripción de grandezas y maravillas tanto naturales como humanas.

De este modo, a fines de la Edad Media y cuando comienza la Era de los Descubrimientos el concepto Geografía sigue siendo confundido con un conjunto de campos que abarcan desde la cosmografía a la topografía y su relación con el uso en la navegación (Ortega, 2000) aún cuando el término es poco utilizado para dar títulos a obras de tipo bibliográfico.

Sólo en 1519 reaparecerá el término, en Sevilla de la mano de Martín Fernández de Enciso, en su *“Suma de Geographia que trata de las partidas y provincias del mundo, Assi mesmo del cuerpo spherico”* donde proporcionará una *descripción detallada de los territorios que componen la Tierra, principalmente localizados en sectores litorales*. Pero esta amplitud conceptual, como arguye José Ortega (2000) no va más allá de un género literario, sin trascender la corografía griega ni la tradición retórica de los árabes.

Esta Geografía como género literario será la dominante hasta que el alemán Bernardo Vareño en su obra *“Geographia Generalis”* (1650) se esforzara por configurar una disciplina de orden sistemático y con ello un concepto más definido y específico. Es por esto que propone una disciplina con dos grandes divisiones o ramas, la general y la especial. Conceptualizándola como sigue:

“La Geografía se divide en dos partes: una general y otra especial. La primera estudia la Tierra en su conjunto, explicando sus diversas partes y características generales. La segunda, es decir, la Geografía especial, respetando las reglas generales, estudia las regiones concretas, su localización, divisiones, límites y otros aspectos dignos de ser conocidos.” (Vareño, 1981. En Unwin, 1995: 102)

Del mismo modo, Vareño daba mayor importancia a la Geografía general; probablemente, en un afán que ahora se podría considerar como deductivo; que a la Geografía especial y además, dividía a la Geografía general en tres partes: *“la parte absoluta, que se ocupa del cuerpo de la Tierra y de sus componentes, como masas*

terrestres y ríos, junto con sus propiedades como forma, movimiento y tamaño; la parte *respectiva* o *relativa*, en la que se estudian las consecuencias de los fenómenos celestes en la Tierra; y la parte *comparativa*, que explica las propiedades que surgen de las comparaciones de puntos diferentes de la Tierra” (Baker, 1955)

Ciertamente, las definiciones de Varenius pueden resultar poco novedosas y originales pues siguen en la misma línea de las definiciones de Geografía dadas desde el mundo griego hacia delante, sin embargo, con él se esboza un primer intento de configuración científica con cuerpo teórico, metodológico y lingüístico propio. Así por ejemplo, Bowen en 1982 plantea que la preocupación de Varenius tiene que ver con una preocupación por la dignidad de la Geografía en la ocupación humana de la Tierra (Unwin, 1995)

Hasta ahora, desde el mundo clásico hasta los aportes de Varenius, en la historia del concepto “Geografía”, se ha podido observar siempre una dicotomía que se expresa entre lo cosmográfico y lo corográfico, lo cartográfico y lo descriptivo o bien entre lo general y lo particular, no obstante, “Kant en el siglo XVIII resolvió esta aparente dicotomía (teoría o práctica) con su teoría corológica del lugar, en el cual se asocian fenómenos de distinta naturaleza que generan un sistema de relaciones” (Santis, 2000: 13) de este modo, Kant sostuvo, esencialmente que la Geografía podía ofrecer una unidad del conocimiento, planteando incluso lo siguiente:

“La Geografía y la historia cubren todo el ámbito del conocimiento, la Geografía el relativo al espacio, y la historia el asociado al tiempo” (Kant, 1970: 261)

Es importante destacar que, los autores más connotados dentro de la teoría de la Geografía, tales como José Ortega, Tim Unwin, José Estébanez y Horacio Capel, entre otros, no reconocen innovaciones importantes en el concepto de Geografía argüido por Kant. Así, por ejemplo, Ortega (2000) señala que “La concepción de Kant de la Geografía no representa ninguna innovación. La *Geografía Física* de Kant aborda los aspectos físicos, pero también la denominada Geografía matemática, es decir, la vieja cosmografía, así como el mundo viviente y la propia especie humana”.

Sin embargo, pareciera ser que dichos autores no han reparado en lo más esencial de la definición de Geografía dada por Kant y que tiene que ver con los *aspectos relacionales entre hombre y naturaleza*, siendo esto un elemento tremendamente novedoso en la historia del concepto Geografía donde siempre se había percibido o bien como medición, o bien como cartografía o mapa, o bien como escenario de actividad humana y, que por lo tanto, nunca había incorporado la noción de espacio como relación.

La consideración de este elemento kantiano en la historia del concepto Geografía y de la disciplina así llamada, es fundamental para el mejor entendimiento y comprensión de los conceptos de Geografía modernos y postmodernos, especialmente aquellos ligados a la Geografía radical y humanista, particularmente aquellas perspectivas asociadas a la fenomenología.

Es por esto que, considero que los aportes de Kant no son sólo de carácter epistemológico y de justificación teórica para la Geografía, como ya existe consenso entre los pocos geógrafos epistemólogos. Sino que además son de carácter conceptual y con ello disciplinario y científico.

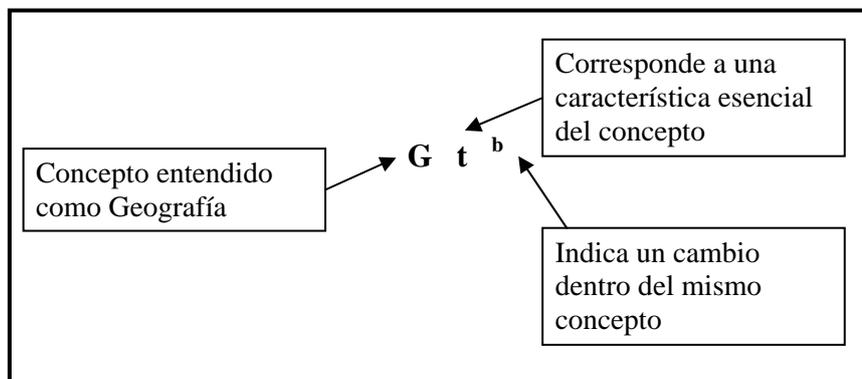
La Geografía y su cambio conceptual según el modelo de S. Toulmin.

El concepto Geografía si bien es un concepto *unitario*, agrupa un conjunto de referencias y sus correspondientes relaciones con las diversas tradiciones que han caracterizado el pensamiento geográfico y que al ser representadas requieren una serie de conceptos como: cosmografía, corografía, topografía, cartografía, mapa, descripción territorio, lugar, etc. A su vez, las diferentes acepciones que tiene el concepto aquí en estudio, pueden ser analizadas desde diversos ámbitos según, por ejemplo, objeto de estudio, objetivos de estudio, procedimientos u otros no excluyentes entre sí. Esto demuestra que las múltiples ideas que se van teniendo sobre determinados conceptos y que por lo tanto se van compartiendo con el resto de la comunidad sea esta profesional o no, van configurando paulatinamente la forma y significado de los conceptos en cada momento específico de la historia, permitiendo entonces un acercamiento bastante próximo al cambio científico en este caso de la Geografía.

Por tomar, en esta ocasión un único concepto (Geografía) se ha elegido el plano de la representación longitudinal presentado por Toulmin y al cual ya se ha hecho referencia anteriormente, por cuanto permite el seguimiento del concepto a través del tiempo, pero sería interesante, que en estudios posteriores se incluyan el modelo trasversal y evolutivo, además de la incorporación de otros conceptos claves.

Para aplicar el modelo longitudinal se aplicó la nomenclatura que se puede observar en la figura número 4.

Figura N° 4: Nomenclatura aplicada al análisis de la evolución del concepto Geografía según el modelo longitudinal de S. Toulmin



Si bien, Eratóstenes de Cirene es quien acuñó el término Geografía, aproximadamente en el año 230 a. C, los griegos, principalmente filósofos, ya dejaban entrever un conocimiento de tipo espacial. Así Tales de Mileto (siglo VI a. C) mencionaba un tipo de estudio de la Tierra en tanto cuerpo celeste (Gm). Aunque, pronto se generalizó la concepción de su discípulo, Anaximandro de Mileto (siglo VI a. C) quien percibía la necesidad de representar la Tierra (Ge), siendo en este contexto en el cual se confunden la cartografía y la Geografía, pues es el mismo Anaximandro el autor del primer mapa de la historia de la Geografía (Murcia, 1995). Además, ya en el siglo V a.C., Anaxágoras plantea de forma implícita la noción de esfericidad de la Tierra, mencionando la necesidad de un estudio de la Tierra como cuerpo celeste, esférico y, que se encuentra en constante movimiento (Gm^e). Prontamente se

incorporaron los aportes de Eudoxo y Cnido (siglo IV a. C.) quienes se encargan de las representaciones de la tierra a través de mapas que incorporan lo que posteriormente se conocerá como latitud (**Gc^l**). Ahora bien, luego de toda esta trayectoria Eratóstenes incorpora el concepto Geografía, realizando un cambio conceptual y científico de proporciones y definiéndola como la representación del mundo conocido (**Gc⁵**) Definición a partir de la cual trabajarán estudiosos posteriores como Ptolomeo, quien concebía a la Geografía como una representación del mundo conocido a la que incorpora proyecciones cartográficas como modelo de representación más exacto y fiable. (**Gc^p**).

Sin embargo, la geografía griega no fue sólo relacionada con la astronomía sino también con las ciencias naturales, particularmente a lo que se refiere a la física del globo y a la biología. Así algunos geógrafos de corte astronómica incorporan estudios relativos a la corteza terrestre y de la atmósfera, como Anaximandro y Anaxágoras (**Gf**).

Además, ya desde el siglo IV a.C Hecateo de Mileto hacía alusión a un estudio que se encargaba de la descripción de grandes superficies terrestres (**Gd**), mientras que Herodoto, el historiador (siglo V a.C) enfatizaba en que esta descripción debía ser tipo etnográfica (**Gd^e**). Por su parte Ephoro (siglo IV a.C) sólo ve a lo que hoy podríamos llamar Geografía, como un marco necesario para el relato histórico (**Gd^h**), siendo la tradición que con él comienza una de las grandes limitantes de la ciencia geográfica durante toda su historia incluso en la actualidad. No obstante Posidonio (135-50 a.C) define a la Geografía como la descripción física del globo (**Gd^f**). Sin embargo, Estrabón aproximadamente en el siglo después de Cristo definirá a la Geografía como el estudio de los fenómenos físicos y humanos, (**Gd^b**) sentando una de las bases más sólidas y continuas en la historia del pensamiento geográfico.

De este modo, “no se puede ignorar que desde Anaximandro (610-547 a. C) ha habido una tradición cartográfica, la cual es enriquecida por el trabajo especulativo y matemático atribuido a Pitágoras (580-500 a.C) como la tradición matemática en Geografía... a ello se une que desde Hecateo de Mileto (550-475 a. C) ha habido una tradición literaria o corográfica con su Períodos Ges o Viaje alrededor del mundo conocido de los helenos, actividad de la cual derivan los estudios regionales o de países y las monografías de inteligencia política y militar... Estas tradiciones especulativas, son los instrumentos con los que se generan conocimientos geográfico desde los poemas homéricos de la Iliada y la Odisea (siglo IX a. C.) hasta los trabajos de Estrabón de Amasia (siglo I a. C. y I d. C) y de Claudio Ptolomeo (siglo II d. C) (Santis, 2002: 73). Siendo importante destacar que estas tradiciones son las que dominarán durante el período del Imperio Romano y posteriormente durante la Edad Media, período en el cual el Cristianismo ofrecía una alternativa mística y trascendental como explicación científica, impidiendo que estas tradiciones siguieran su desarrollo durante esta etapa de la historia.

A pesar de ello, la herencia Griega, así como la de Ptolomeo fue recogida por los árabes quienes prosiguieron el desarrollo de la Geografía, aunque bajo un dominio cosmográfico y religioso bastante fuerte (**Gm^a**). Esto gracias a sus contactos con los nestorianos en Persia y Siria. Con ello, la definición de Geografía para el mundo árabe hará alusión a la descripción de los territorios islámicos con un cierto orden, pero siempre respondiendo a la imagen cosmográfica y religiosa del mundo (**Gd^j**). Asimismo, es indispensable señalar que si bien los árabes siguen la tradición descriptiva

de los griegos, agregan la descripción de maravillas, grandezas y rarezas del mundo (**Gd^m**).

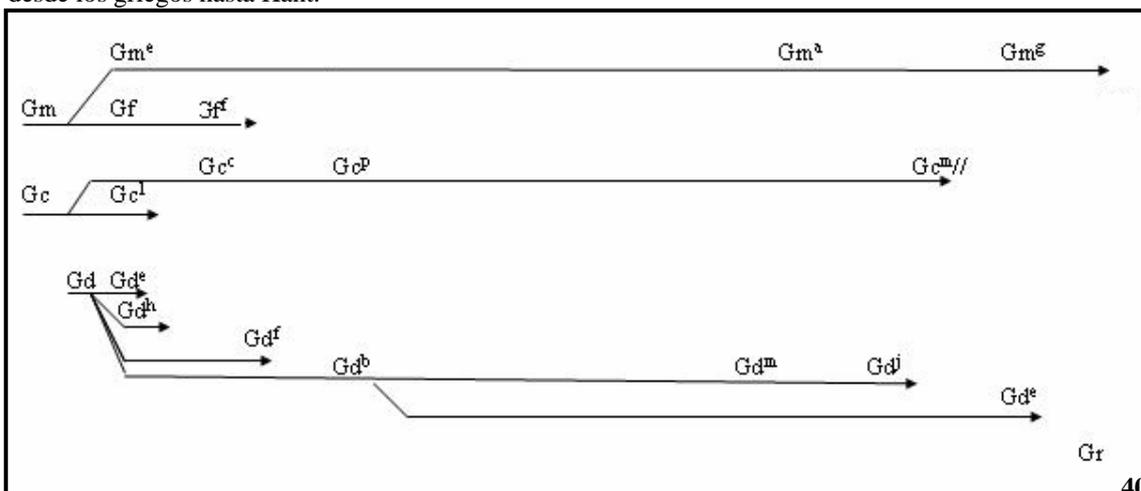
Ya en siglo XVI, la jerarquía eclesiástica tan dura de la Edad Media, se desliza hacia la libertad de pensamiento abriendo el camino al resurgimiento de la ciencia (Murcia, 1995) aparecen así, a comienzos del siglo XVI, las primeras cartas de marear o Portulanos, que luego de la invención de la imprenta en 1440 fueron ampliamente reproducidos y que continuaron la definición de Geografía como medio de representación de la tierra, principalmente de las costas y los litorales (**Gc^m**) lo que se verá potenciado con la traducción al latín de la versión árabe de la obra de Ptolomeo en 1416. Además será en este período (1492 a 1522) en el cual se confirmará empíricamente la esfericidad de la Tierra, planteada veinte siglos antes por Anaxágoras, lo que significó un gran avance para la ciencia y principalmente para la Geografía, dando comienzo así a una etapa de profundos intereses geográficos. No obstante, luego del Renacimiento la Geografía siguen manteniendo tres orientaciones específicas, la Geografía astronómica, la Geografía asociada a la cartografía y la Geografía descriptiva.

Sin embargo, en 1650, en un esfuerzo sistematizador, Varenius incorporará algunos elementos, aunque pocos, en la definición de Geografía haciendo la especificación entre Geografía General y Geografía Especial aunque integradas en un cuerpo único y con una definida apreciación epistemológica, definiendo a la Geografía como la ciencia matemática mixta que explica las propiedades de la Tierra y de sus partes, relativas a la cantidad, esto es, la figura, situación, dimensiones, movimientos, fenómenos celestes y otras situaciones similares, siendo la división general (**Gm^g**) y particular (**Gd^g**) sólo una cuestión de escala.

Pero será en 1768, con la obra de Emanuel Kant “*Sobre el primer fundamento de la distinción de las regiones del espacio*” y con la teoría de los lugares, que la Geografía tendrá un giro conceptual y científico realmente importante, por cuanto es este filósofo dedicado a la Geografía quien hizo referencia a la realidad del espacio y a su concepción como relación, saliendo del clásico idealismo y definiendo a la Geografía como el estudio de los aspectos relacionales entre hombre y naturaleza (**Gr**), siendo, como ya se ha dicho repetidamente a lo largo de este artículo uno de los grandes aportes para la configuración de la Geografía humanística principalmente la que deriva de la línea fenomenológica.

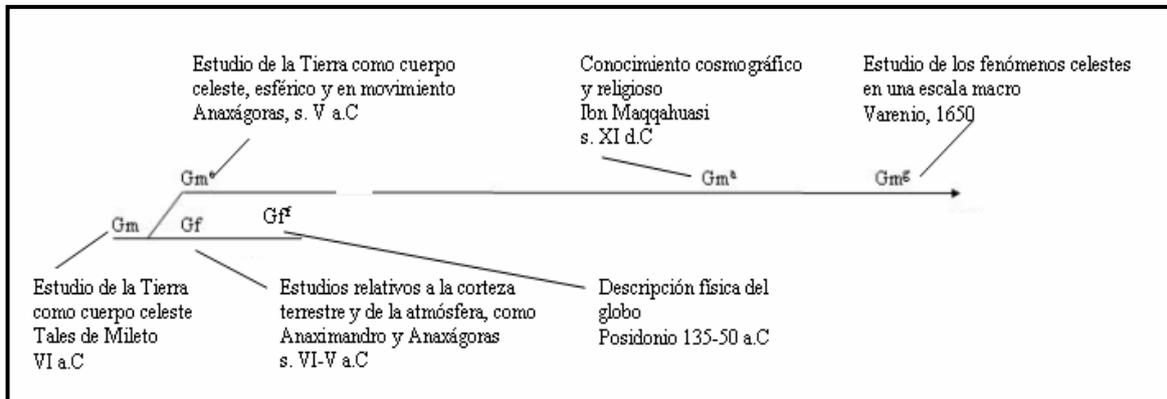
Esta evolución aquí expuesta del concepto Geografía, al ser graficada según el modelo longitudinal, puede ser observada en la figura N° 5.

Figura N° 5: Representación genealógica o longitudinal de la evolución del concepto Geografía desde los griegos hasta Kant.



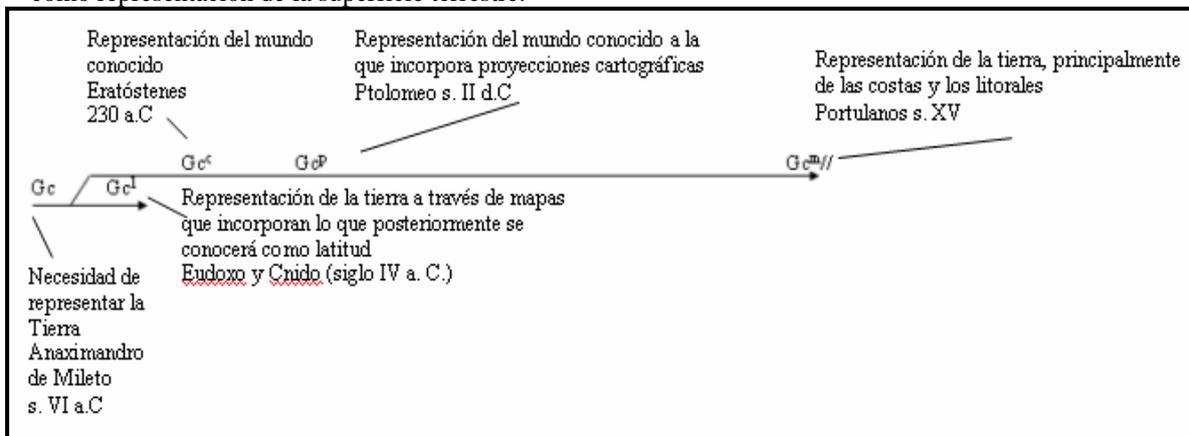
De esta forma, se puede observar en el período señalado la evolución de un concepto Geografía asociado a la astronomía o a la cosmografía.

Figura N° 6: Representación genealógica o longitudinal de la evolución del concepto Geografía asociado a la cosmografía.



En este caso, el cambio conceptual se presenta como solución a un problema de tipo uno, según lo definido por Toulmin, esto es: “ Siempre hay ciertos fenómenos que la ciencia de la naturaleza puede esperar razonablemente explicar, pero para los que ningún procedimiento disponible proporciona todavía un tratamiento exitoso”, para el cual la solución adoptada fue la refinación de la terminología.

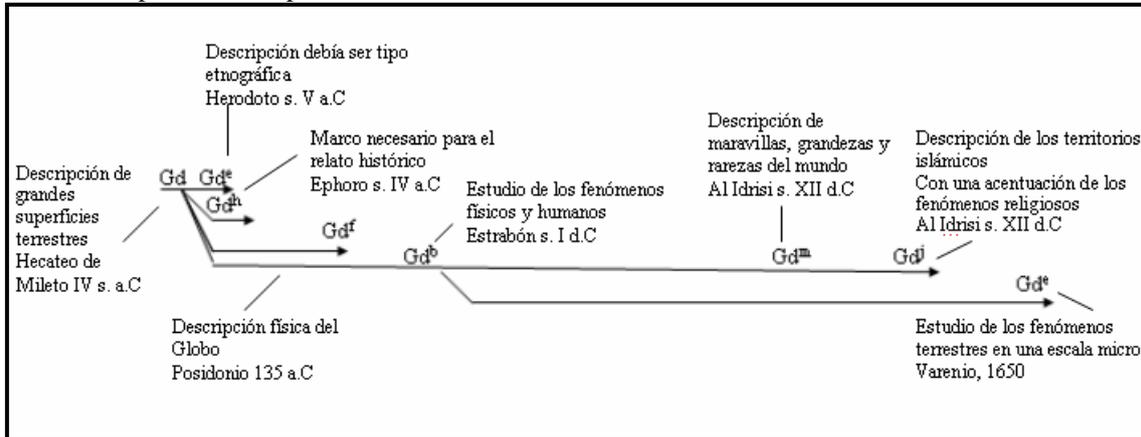
Figura N° 7: Representación genealógica o longitudinal de la evolución del concepto Geografía como representación de la superficie terrestre.



Contrario a lo sucedido en la evolución del concepto Geografía en cuanto cosmografía, en este caso, es decir, la evolución del concepto Geografía entendido como Cartografía, se presentaba un problema de tipo cuatro, esto es, “los problemas que se presentan cuando consideramos la mutua relación de conceptos de diferentes ramas de la ciencia”, para los cuales la solución fue la introducción de nuevas técnicas de representación, Un concepto de Geografía relacionado con la cartografía que a diferencia de los otros tiene fin, en el siglo XVI, cuando ambas disciplinas se separan definitivamente en el ámbito científico.

Y, por otra parte, un concepto de Geografía relacionado con la Descripción de la Tierra, siendo una de las tradiciones más duraderas. Donde el problema es de tipo uno, y las soluciones varían entre la refinación de la terminología y la introducción de nuevas técnicas de representación.

Figura N° 8: Representación genealógica o longitudinal de la evolución del concepto Geografía como descripción de la superficie terrestre.



No obstante, no será hasta el siglo XVIII, con los aportes de Kant que la Geografía sea concebida como el estudio de las relaciones del hombre y el espacio

Consideraciones finales.

Probablemente no tenga ningún sentido destacar aquí los aportes de los griegos o de Ptolomeo, del mundo islámico, de Varenio o de Kant, pues ello ya ha sido tratado ampliamente por quienes han escrito sobre el desarrollo del pensamiento geográfico y por los teóricos de la Geografía. Sin embargo, a partir de este estudio hemos podido demostrar que la historia de la Geografía puede describirse, explicarse y comprenderse a partir del cambio conceptual y particularmente de un modo evolutivo, sin la necesidad de caer en la linealidad o en la radicalización de la consideración del progreso científico a través de revoluciones.

La aplicación del modelo longitudinal de Toulmin nos ha permitido observar como la disciplina geográfica y el concepto de Geografía se traslapan en el curso del tiempo, permitiendo explicar el cambio científico a través del cambio conceptual.

Si bien algunas personas podrían argumentar que lo que aquí se expone no corresponde a la historia de la Geografía, por cuanto la ciencia geográfica sólo se configura a fines del siglo XIX, a partir de esta investigación hemos constatado, que si bien la Geografía se establece como ciencia en ese período, desde el mundo griego y probablemente desde antes, la Geografía se ha abatido en un lucha ardua por conseguir su estatuto epistemológico propio, por lo que todos los procesos involucrados en este esfuerzo pueden y deben ser considerados como parte de la historia de la Geografía.

Aunque, en este artículo muchas veces se ha hecho mención a las definiciones personales acerca de la Geografía, se debe recordar que hemos partido diciendo que los pensamientos son propios pero los conceptos son colectivos, por lo que hemos asumido que si determinados autores se han atrevido a definir a la Geografía de una manera

determinada es porque gran parte de la comunidad ha compartido esa definición particular para el concepto de Geografía.

Sin embargo, si bien se valora la contribución de S. Toulmin al estudio de la historia de la Geografía y del pensamiento geográfico, estamos concientes de que constituye una aproximación de tipo parcial, por lo menos en este caso, ya que no se han incorporado en profundidad elementos teóricos, metodológicos e instrumentales que mantienen relación directa con cualquier concepto y por lo tanto, con su evolución.

Además, se considera que este tipo de investigaciones es trascendental en el ámbito de la enseñanza de la Geografía, tanto en el nivel secundario como en el nivel superior o universitario, por cuanto propone y expone de forma explícita, la organización, rigurosa, objetiva y sistémica de las diversas respuestas que se presentan a las interrogantes ¿Qué es la Geografía?

Con ello, cabe considerar que desde el año 2000, la Unión Geográfica Internacional (UGI) en el XXIX Congreso Geográfico Internacional realizado en Corea, ha delimitado como una de sus cinco grandes nuevas direcciones el desarrollo de educadores geógrafos para el siglo XXI (Santis, 2000: 17)

Esto implica, que la incorporación de la historia de la Geografía y del pensamiento geográfico en el currículo no debe ser exclusiva para Geógrafos en formación, sino que debe hacerse extensiva también a los profesores de Geografía que se encuentren en proceso formativo. Además es importante destacar que, en Chile prácticamente no existe la formación de profesores de Geografía como tales, sino que la enseñanza de la Geografía, al encontrarse en el sector de Comprensión de la Sociedad durante la enseñanza básica, es desarrollada por profesores generales básicos y, en el sector de Historia y Ciencias Sociales en la enseñanza media, es desarrollada por profesores de Historia y Ciencias Sociales o bien de Historia. Así, en tanto, el sistema educativo formal por largo tiempo se ha encontrado cerrado para la incorporación de geógrafos, perpetuando una concepción de la Geografía positivista de corte determinista que desemboca en una férrea resistencia a su enseñanza y que dificulta fuertemente su aprendizaje. Sólo en el último tiempo algunos geógrafos, tales como Marcela Alday, Marcelo Garrido, Ulises Sepúlveda, Mariel Robles y, Ana Vergara entre otros se han formado como Profesores de Geografía y se han incorporado al sistema educativo.

Todo lo anteriormente expuesto hace indispensable y urgente una potente formación histórica y epistemológica en este tipo de profesionales.

Bibliografía

- Broek, J (1967) Geografía, su ámbito y su trascendencia. Editorial Uteha, México D.F, México.
- Capel, H. (1981) Filosofía y ciencia en la Geografía contemporánea. Editorial Barcanova, Barcelona, España.
- Daus, F. (1982) ¿Qué es la Geografía? Editorial Oikos. Beunos Aires, Argentina.
- Estany, A. y Izquierdo, M. (1990) La evolución del concepto afinidad analizada desde el modelo de S. Toulmin. En: LLULL, Vol 13, p. 349-378.
- Kuhn, T. (1962) The Structure of Scientific Revolutions, The University of Chicago. Traducción al castellano por Agustín Contín, “La Estructura de las revoluciones Científicas”, Fondo de Cultura Económica, México. 1971.
- Izquierdo, M.; Quintanilla, M, Solsona, N. y Uribe, M. (2005) Aplicación del modelo de Toulmin a la evolución conceptual del sistema circulatorio: perspectivas didácticas. Departamento de Didáctica, Grupo Grecia, Facultad de Educación, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Murcia, E. (1995) La Geografía en el sistema de las ciencias. Servicio de publicaciones de la Universidad de Oviedo. Oviedo, España.
- Ortega, J. (2000) Los horizontes de la geografía, Teoría de la Geografía. Editorial Ariel. Barcelona, España.
- Santis, H. (2002) Perspectivas de la Geografía. Revista de Geografía Norte Grande, Vol. 29, p. 69-81.
- Santis, H. y Gangas, M. (2000) Las interrogantes para la Geografía del siglo XXI. Revista de Geografía Norte Grande, Vol. 27, p. 11-18.
- Unwin, T. (1995) El lugar de la Geografía. Ediciones Cátedra. Madrid, España.
- Toulmin, S. (1977) La comprensión humana. 1. El uso colectivo y la evolución de los conceptos. Madrid. Alianza Universitaria.

Capítulo 3

La formación de profesores de ciencias en la enseñanza básica: Aspectos relacionados con las concepciones frente al cambio conceptual en ciencias.

Luigi Cuellar,

Pontificia Universidad Católica de Chile

Chile

Resumen

En el presente artículo se hace una reflexión teórica acerca de algunos aspectos relacionados con las concepciones de los profesores de educación básica, en el área de las ciencias. Para ello, se aplicó un instrumento que permitió identificar, de forma preliminar, las concepciones de un grupo de 20 profesores en último año de formación, quienes se desempeñan como profesores de nivel básico en la ciudad de Santiago de Chile. A partir de los resultados obtenidos se formuló un marco de referencia teórica sobre el cual se analizaron dichas concepciones y además se presentan algunas sugerencias que pueden considerarse para la reflexión de su práctica y así aportar al mejoramiento de la calidad de la educación en ciencias, desde niveles iniciales de formación de los estudiantes.

Palabras clave: didactología, naturaleza de la ciencia, cambio conceptual en ciencias, lenguaje y comunicación en el aula.

Introducción

Ha sido establecido por parte de la comunidad de especialistas en didáctica de las ciencias experimentales que las concepciones de los profesores sobre la naturaleza de la ciencia y de la actividad científica tiene repercusiones importantes sobre la formación de los estudiantes en todos los niveles de enseñanza (Porlán, 1989; Quintanilla, Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2005).

De igual manera, se ha referenciado que los resultados de investigaciones acerca de las concepciones y las prácticas de los profesores de ciencias naturales han puesto énfasis en la necesidad de replantearse los contenidos científicos escolares y las estrategias de formación del profesorado (Porlán y Martín del Pozo, 2006, Porlán y Rivero, 1998, Angulo, 2002), al establecerse que aún siguen vigentes y coexisten distintas visiones (la mayoría de las veces antagónicas entre sí) de la ciencia y su comunicación discursiva en el aula (Lemke, 1997; Candela, 1999; Izquierdo y Sanmartí, 1998) como tendencia general entre el profesorado de química, física y biología. No obstante, gran parte de estas investigaciones hacen referencia a las problemáticas educativas en los niveles de enseñanza media y superior, dejando de lado la problemática que ocurre en el nivel de enseñanza secundaria.

En el contexto actual de continuo avance científico y tecnológico, que propende por una alfabetización científica y tecnológica tendiente a la formación de ciudadanos críticos y participativos en la toma de decisiones que tienen que ver con el desarrollo continuo en nuestros países, no basta solamente con proponer soluciones “paliativas” y de abordar esta problemática en los niveles de enseñanza media y superior, sino que se hace necesario además, considerar la formación en ciencias desde los primeros niveles de escolaridad, con lo cual, como es señalado por Nieda, Cañas y Martín-Díaz (2000), la enseñanza de las ciencias permitirá al estudiante adquirir conocimientos útiles para su vida, que puedan comprender algunos fenómenos cotidianos, formarse como personas críticas y transformadoras de sus propias realidades.

En cuanto a la situación particular de la educación en ciencias en niveles básicos de escolaridad en Chile, ha sido señalado por Carrasco (2003), que el desarrollo de sociedades como las nuestras necesitan de investigadores científicos, motivados por el estudio de estas disciplinas desde edades tempranas, bajo modelos de enseñanza que les permitan aproximarse al conocimiento científico de una manera progresiva, en la que se evite la inclusión de visiones distorsionadas de la actividad científica, en lo cual juega un papel fundamental el profesor de ciencias en estos niveles básicos de escolaridad.

A partir de la situación mencionada y considerando las reflexiones elaboradas en el marco del curso “Teoría didáctica y construcción del conocimiento disciplinar en la escuela” a propósito de ¿cómo se investiga en didactología?, se presentan en este artículo algunos aspectos en relación con las concepciones que presentan los futuros profesores de ciencias en nivel básico, en particular lo referente a la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, *secuenciación de contenidos, ideas previas, rol del profesor, naturaleza de la ciencia y cambio conceptual*. También se proponen, algunos elementos teóricamente sustentados, que pueden contribuir a que el profesor analice su propia práctica educativa.

La investigación propuesta, se llevo a cabo con un grupo de 20 profesores en formación inicial, que realizaban la práctica docente en el nivel de educación básica, en la región metropolitana, los profesores, respondieron a un cuestionario estructurado referente a los aspectos enunciados y a partir de los resultados obtenidos, se presenta la siguiente reflexión teórica.

Marco de referencia teórica

En la paulatina consolidación de la nueva didáctica de las ciencias se han ido esclareciendo ciertos aspectos que tienen que ver con los fundamentos epistemológicos que la han orientado a través estos últimos años. Es así como a partir de lo señalado por Adúriz-Bravo (1999), podría plantearse que ante el fracaso de una visión determinada de didáctica, por ejemplo la didáctica instrumental o funcionalista, también fracasa el fundamento epistemológico en el que se apoya, en este caso el racionalismo absolutista y el positivismo. Al señalarse el tránsito de la didáctica por las etapas adisciplinar, tecnológica, protodisciplinar, emergente y consolidada (Adúriz-Bravo, 1999), se da cuenta de diversos posicionamientos epistemológicos que, a la luz de la nueva filosofía de las ciencias conducen a establecer al *constructivismo didáctico* como el fundamento teórico de esta nueva disciplina, en la que se señala la integración de aspectos psicológicos, pedagógicos y epistemológicos desde una perspectiva propia de este nuevo campo disciplinar.

De manera análoga a este avance teórico de reflexión en cuanto al estatuto actual de la nueva didáctica de las ciencias, las investigaciones en enseñanza y aprendizaje de las ciencias, apoyadas por las nuevas perspectivas epistemológicas, filosóficas y sociológicas en este campo, han identificado la pertinencia de pensar la naturaleza de la ciencia y de la actividad científica desde nuevos posicionamientos, revaluando los tradicionales enfoques racionalistas y empiristas que consideran un orden fijo en la naturaleza y la consecuente enseñanza de las ciencias que bajo esta perspectiva está orientada en el explicar los principios fijos e inmutables que rigen su comportamiento. Entonces, ha de ser posible pensar en la naturaleza del conocimiento científico de una manera más amplia que las visiones positivistas y algorítmicas, aún persistentes en las concepciones de algunos profesores e investigadores del ámbito educativo, como plantea Toulmin (1977), en función de situaciones reales en las que está involucrado el ser humano, de tal forma que en la enseñanza en la escuela, las ciencias se presenten como una fuente inacabada de propuestas ante las necesidades y exigencias que se presentan, más que en la mera organización formal de constructos conceptuales.

Ante lo anterior, la enseñanza de las ciencias en el aula de clase habría de situarse desde una perspectiva naturalizada de la actividad científica que permita la construcción de teorías y modelos científicos para comprender el mundo (Giere, 1992; Quintanilla, 2004), al tiempo que cuestionar la forma como esta ha evolucionado en el tiempo y el conocimiento mismo sobre ella, algo que podría permitir, a juicio del autor de este documento, una resignificación del modelo tradicional con el que frecuentemente se asocia la ciencia, los métodos con los cuales ella trabaja y la forma como esta se enseña en la escuela.

Como ha sido señalado por Quintanilla (2005), en la transmisión y divulgación de la ciencia en el aula escolar se ignora el devenir histórico del conocimiento científico lo que lleva a que el profesor trasmita una imagen de ciencia normativa y restrictiva, de

carácter algorítmico, absolutista, acumulativa, cuya construcción pareciera darse al margen de los contextos culturales, sociales, económicos y políticos en los que los científicos y científicas han contribuido de manera progresiva e intencionada al desarrollo sistemático del conocimiento científico, en las diferentes épocas.

Se plantea entonces que en el contexto educativo es fundamental reconocer el papel del profesor como mediador entre la evolución del conocimiento científico y el conocimiento científico escolar, razón por la cual, se reconoce que la enseñanza de las ciencias y la formación docente han de considerar una resignificación de las bases que los sustentan, para así tratar de identificar aspectos fundamentales en los procesos de formación de profesores tendientes a posibilitar una mayor participación del docente de ciencias en la construcción de su propio conocimiento profesional y científico, lo mismo que en las concepciones que orientan su práctica educativa en busca de una mejor aproximación de los estudiantes a la ciencia, incluso como fue mencionado anteriormente, desde niveles básicos de escolaridad.

Además de los aspectos mencionados hasta ahora, en torno a la naturaleza de la ciencia y del rol del profesor, se considera importante establecer algunas reflexiones acerca de la forma como se considera que se integran los nuevos conocimientos en los alumnos, lo mismo que lo referente a cuáles son los mecanismos mediante los cuales se “negocian” los nuevos significados y la forma como se dan los procesos comunicativos en el aula.

Como ha sido manifestado por Izquierdo, M., Vallverdú, J., Quintanilla, M. y Merino, C. (2006), las ideas de los alumnos no cambian de manera paradigmática, como puede desprenderse de la propuesta Kuhniana, y tampoco, cambian arbitrariamente los modelos o las teorías que configuran sus estructuras conceptuales por otras, como sería desde una perspectiva popperiana.

Con base en lo formulado por Castorina (1998), se considera en este documento que las orientaciones epistemológicas de orden positivista o neopositivista no dan cuenta de lo que sucede en el proceso de enseñanza-aprendizaje, en cuanto a la forma como los estudiantes se apropian de los contenidos científicos. Por ello, puede afirmarse que el cambio conceptual en ciencias no puede ser reducido a la simple sustitución de las creencias previas de los estudiantes por los conceptos científicos trabajados en clase.

Se parte del planteamiento que en la enseñanza de las ciencias se hace necesario, cada vez más, que los estudiantes estén implicados en procesos de aprendizaje que les permitan promover el cambio conceptual a partir del reconocimiento de las limitaciones que están presentes, en relación con las ideas previas que poseen. Como es señalado por Campanario, Cuerva, Moya y Otero (1997) las formulaciones más recientes del cambio conceptual destacan su carácter metacognitivo, puesto que la reflexión sobre el propio conocimiento y control de los procesos cognitivos por parte del estudiante, son una componente necesaria del cambio conceptual. Se plantea que las ideas que mantienen los estudiantes acerca de la naturaleza de la ciencia, el conocimiento científico y sobre el propio aprendizaje de la ciencia vienen a conformar sus concepciones epistemológicas; las cuales son parte del conocimiento metacognitivo en la medida en que impliquen conocimientos sobre las propias ideas y sobre el propio conocimiento y que pueden orientar el desempeño de los estudiantes en las actividades de aprendizaje.

Sin embargo, ha de plantearse que en la realidad educativa son pocas las oportunidades que se generan para que esto suceda, y por el contrario, estas ideas previas acerca de la visión deformada de la actividad científica por parte de los estudiantes, son reforzadas por la utilización, por parte del profesor, de métodos tradicionales de enseñanza centrados en la transmisión de contenidos conceptuales, de la visión positivista en el empleo del laboratorio, del uso ingenuo del libro de texto como instrumento primordial en el aula, de prácticas educativas que apelan a la memorización, de la formulación de currículos con orientaciones técnicas, entre otras situaciones que impiden que en el proceso de enseñanza-aprendizaje se generen espacios de metacognición.

Por otra parte, en el marco general de las ideas y planteamientos expuestos hasta este punto, se comparte la idea de varios investigadores en didáctica de las ciencias, de que es necesario incorporar en la enseñanza de las ciencias, espacios de discusión y reflexión en torno al conocimiento científico en la escuela, en particular lo referente a la construcción, negociación de conocimientos, argumentaciones y significado compartidos.

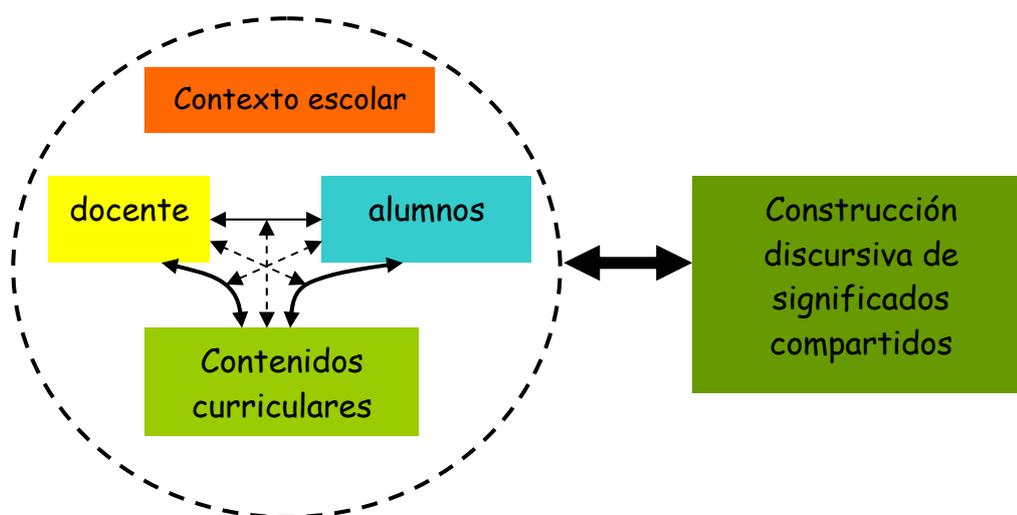
A partir de lo establecido por Castorina (1998), se reconoce que el profesor habría de propiciar espacios de diálogo, de construcción y resignificación de los hechos científicos, en los que las ideas de los estudiantes sean estudiadas y controvertidas, para que en conjunto se presente su propia versión científica, en la que esta sea entendida como una forma más de interpretar el mundo, entre otras, no como la única, la más importante ni verdadera, ni la más completa y acabada. Así, se puede ir aproximando a los estudiantes al discurso científico, haciendo también uso de elementos retóricos como la argumentación, las narrativas y las metáforas, en la búsqueda del debate, la argumentación, la controversia que surge cuando los estudiantes ponen en juego sus recursos discursivos, como proceso de aprendizaje.

Es importante reconocer que en esta dinámica de explicitación de los marcos de referencia de los estudiantes, se han de ir incorporando elementos del discurso científico, para no llegar a trivializar los aportes del lenguaje en la construcción de conceptos científicos. Es decir, el espacio de diálogo y confrontación en el aula ha de permitir la inclusión de situaciones que permitan el estudiante moverse por ese “puente” que lo acerca a situaciones cotidianas y a su vez a situaciones contextuales de la ciencia.

En esta misma perspectiva, Candela (1999) plantea que en el aula de clase se ha de permitir que el estudiante aprenda a hablar en términos de una noción idealizada de la lógica científica y de la producción del conocimiento, contrario a búsqueda de la perpetuación de la imagen distorsionada de la actividad científica en la que se corrobora la aparente neutralidad y el marco positivista dentro del cual se construye la ciencia.

Se propone entonces el estudio de las situaciones de explicación, justificación y argumentación que se presentan en la escuela, a partir del discurso en la interacción social que allí se realiza, lo cual se considera prioritario a la hora de tratar de formular nuevas perspectivas de mejoramiento de la calidad de la enseñanza de las ciencias, en un contexto real.

Figura 1. Construcción discursiva en la interacción social.



Como se aprecia en la Figura 1, en la construcción discursiva, que se desarrolla en el aula se consideran un conjunto de factores incidentes y no cada uno de estos factores por separado. Según Candela (1999), tradicionalmente cuando se focaliza en los estudiantes, estos son tomados como receptores de información, de las intenciones, de los valores y actitudes que se desean que tengan en su formación. Por el contrario, se propone que el profesor de ciencias, al estudiar la interacción discursiva en el aula escolar desde la perspectiva del estudiante, ha de analizar esta sobre la base de una construcción del contenido de la ciencia en el aula.

Así, las negociaciones del significado incluyen los contenidos académicos que se van construyendo en cada intervención y las acciones por las que se da la negociación, las cuales se dan por medio de hechos como argumentar, describir, culpar, defender, convencer, imponer, rechazar, apoyar, compartir, validar, legitimar, cuestionar, ejemplificar, entre otras, lo que va configurando el *discurso* del estudiante.

Es claro que lo establecido en las líneas anteriores demanda un profundo cambio en las tradicionales prácticas docentes, que permitan que los estudiantes desarrollen su creatividad, formulen interrogantes que guíen progresivamente la construcción y consolidación de los conocimientos científicos, de tal manera que no sean simples operarios de un saber tecnificado y preestablecido, sino que sean transformadores y actúen propositivamente en el mundo en el que se desenvuelven.

Metodología de recolección de la información

Como se mencionó en la introducción, las anteriores reflexiones teóricas se han expuesto para sustentar los resultados obtenidos en cuanto las concepciones de los profesores de formación inicial de enseñanza básica, respecto a la enseñanza de las ciencias. Las dimensiones propuestas para evidenciar las concepciones de los profesores fueron: *secuenciación de contenido, ideas previas, rol del profesor, naturaleza de la ciencia y cambio conceptual*.

El grupo que hizo parte de este estudio estaba conformado por 20 profesores de educación básica en formación, que hacen su último año de preparación y realizan

clases de ciencias naturales en diferentes establecimientos educativos de la ciudad de Santiago de Chile. Se trabajó con ellos un cuestionario estructurado tipo Likert, que consta de nueve afirmaciones referentes a las dimensiones, para que expresaran su posición frente a cada una de ellas. En el anexo 1 se muestra el instrumento al que se está haciendo referencia.

Comentarios de los Resultados obtenidos.

En la tabla 1, se recogen los resultados obtenidos a partir de las reflexiones de los profesores participantes. Se aclara que más allá de pretender cuantificar los resultados, la tabla se muestra como una síntesis de las respuestas ofrecidas por los profesores.

La columna de “dimensión de análisis” permite indagar acerca de las concepciones de los profesores en cada uno de estos campos y a su vez están relacionados con cada uno de los aspectos que se han tenido como base de la reflexión teórica presentada. Los ítems corresponden a los interrogantes que se considera que están relacionados con su respectiva dimensión y las valoraciones de los profesores podrían ser: TD (totalmente en desacuerdo); D (en desacuerdo); A (de acuerdo) y TA (totalmente de acuerdo).

Tabla 1. Resultados obtenidos al aplicar el cuestionario

Dimensión de análisis	ítem	TD (%)	D (%)	A (%)	TA (%)
Cambio conceptual en ciencias considerado desde la perspectiva epistemológica conductista	1	-	15	55	30
	5	-	20	70	10
	9	-	5	65	30
Importancia de las Ideas previas para el cambio conceptual en ciencias	2	-	5	25	70
	7	-	-	55	45
Importancia de la secuenciación de contenidos con base en lo “disciplinar”	3	30	60	10	-
	4	-	35	50	15
Papel “protagónico” del profesor en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias	6	10	20	40	30
Carácter racionalista-empirista de la naturaleza de la ciencia	8	10	40	40	10

Como pudo establecerse, el grupo de profesores participantes de este estudio preliminar considera la importancia de los conocimientos previos de los estudiantes en la construcción de conocimiento científico, en la que se impliquen procesos de resignificación y reorganización de los modelos y teorías que son base de la comprensión de las situaciones en las que se desenvuelven los estudiantes, de forma progresiva, hacia modelos de comprensión cada vez más consolidados.

En lo referente a las concepciones sobre la naturaleza de la ciencia, siendo consciente que a partir de una sola afirmación es imposible determinar las tendencias epistemológicas de los profesores, puede pensarse que el grupo de profesores posee marcos epistemológicos diversos, que se mueven entre posicionamientos racionalistas-empiristas y realistas pragmáticos sobre la actividad científica.

Por su parte, existe cierta tendencia a establecer como esencial y protagónico al papel del profesor en los procesos de construcción de conocimiento científico en la escuela, ante lo cual, de la misma forma que en el párrafo anterior, habría que profundizar en el tipo de caracterización al que se asocia el papel del profesor, lo mismo que la importancia que se da al estudiante en este proceso de construcción de conocimiento científico.

A propósito de la manera como se considera que han de ser organizados y secuenciados los contenidos científicos, podría decirse que existe cierta ambivalencia entre los profesores en cuanto a considerar los principios teórico-disciplinares como ejes articuladores de la enseñanza de las ciencias, por una parte, frente a las expectativas de los estudiantes al momento de acceder a estos nuevos conocimientos científicos. No obstante lo anterior, se puede observar que existe reconocimiento por la importancia del contenido científico para lograr un cambio conceptual, más que a los procesos metacognitivos llevados a cabo por los estudiantes en esta construcción y consolidación de conocimientos.

El aspecto que más llama la atención es la consideración, casi de forma general entre los profesores, de que el cambio conceptual en ciencias se fundamenta en orientaciones epistemológicas de orden conductista. Así, los profesores dan gran importancia a la asimilación y acomodación de nuevos conceptos, de forma lineal y acumulativa, en la que es importante la instrucción que se le da al estudiante con fines únicamente de aplicación de estos conocimientos científicos “adquiridos”.

Conclusiones preliminares

A partir de esta primera aproximación de indagación acerca de las concepciones de los profesores de educación básica en cuanto a los aspectos relativos al cambio conceptual en ciencias, el papel del profesor, la importancia concedida a las ideas previas de los estudiantes, las concepciones sobre la naturaleza de la ciencia, los criterios de selección y organización del contenido científico, entre otros, se establece la necesidad de profundizar en las razones por las cuales los profesores que han participado de esta etapa de indagación consideran las afirmaciones que ellos mismos han formulado. Para lo anterior, sería interesante poder establecer la coherencia de las concepciones de los profesores con sus modelos de enseñanza, para lo cual habría que complementar estos resultados con el registro del desempeño docente en el aula de clase.

No obstante, que este documento muestra una primera aproximación en cuanto a la necesidad de formular nuevas perspectivas de análisis y reflexión por parte de los profesores en ciencias y por ello sería prematuro plantear de forma rigurosa ciertas afirmaciones en cuanto a las carencias de la formación de los profesores de ciencias de nivel básico, si es posible, en relación con el marco de referencia en el que se apoya, presentar algunos aspectos sobre los cuales poner énfasis, debido a la importancia que ellos conllevan para un mejoramiento en la calidad de la enseñanza de las ciencias, desde niveles básicos de escolaridad.

En referencia a la caracterización del papel protagónico del profesor en la enseñanza de las ciencias, habría que contemplar la importancia de los procesos comunicativos en el aula, de utilización del lenguaje, de construcción y negociación de

significados, en la que se tengan en cuenta de manera holística la interacción docente-alumno-contenidos curriculares, de conformidad con lo planteado en el marco de referencia, según Candela (1999).

Otro aspecto que llama la atención es el fundamento epistemológico que subyace al entendimiento de los procesos involucrados en el llamado cambio conceptual, que en este caso es fuertemente marcado por posicionamientos de origen conductista, ante lo cual se propone una mayor aproximación a planteamientos epistemológicos que permitan comprender la naturaleza de la ciencia y de la actividad científica, lo mismo que de la enseñanza de la ciencia, desde una visión naturalizada (Giere, 1992; Quintanilla, 1999).

Para finalizar, se quiere plantear, no obstante que este aspecto no fue tenido en cuenta en el instrumento de indagación, que en la secuenciación y presentación de los contenidos científicos en la enseñanza de las ciencias no sea tenido en cuenta de manera exclusiva su carácter disciplinar, sino que sean estos incorporados a partir del reconocimiento de la historia y la filosofía de la ciencias, una de las líneas de investigación en las que se encuentra trabajando el autor de este documento, lo mismo que otros investigadores en didáctica que hacen parte del seminario dentro del cual se ha formulado este documento y un gran número de investigadores en didáctica de las ciencias a nivel nacional e internacional.

BIBLIOGRAFÍA

- ADÚRIZ-BRAVO, A. (1999) Elementos de teoría y de campo para la construcción de un análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias. *Tesis de Maestría en Didáctica de las Ciencias*. Universidad Autónoma de Barcelona.
- ANGULO F., (2002). Formulación de un modelo de autorregulación de los aprendizajes desde la formación profesional del biólogo y del profesor de biología. Tesis Doctoral. Facultad de Educación. Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- CAMPANARIO, J., CUERVA, J., MOYA, A. y OTERO, J. (1997). La metacognición y el aprendizaje de las ciencias. En *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*. Vol 1, 36-44.
- CANDELA, A. (1999). Ciencia en el aula. Los alumnos entre la argumentación y el consenso. México. Editorial Paidós.
- CARRASCO, P. (2003) Estudio exploratorio de las prácticas pedagógicas cotidianas de una educadora de párvulos con respecto a sus concepciones en didáctica de las ciencias naturales a través del análisis de su discurso profesional. *Tesis de Magíster*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- CASTORINA, J. A. (1998) Aprendizaje de la ciencia. Constructivismo social y eliminación de los procesos cognoscitivos. Vol XX, núm. 82, pp. 24-39.
- GIERE, R (1992). La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo. Mexico: Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

- IZQUIERDO, M., VALLVERDÚ, J., QUINTANILLA, M. y MERINO, C. (2006). Relación entre la historia y la filosofía de las ciencias II. *Alambique* 48. 78-91
- IZQUIERDO, M. y SANMARTÍ, N. (1998). Enseñar a leer y escribir textos de Ciencias de la Naturaleza. En: Jorba, J., Gómez, I. y Prat, A. (eds.). *Hablar y escribir para aprender*, pp. 181-199. Bellaterra: ICE de la UAB.
- LEMKE, J. L. (1997). *Aprender a hablar ciencia: Lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona. Paidós.
- NIEDA, J., CAÑAS, A. y MARTÍN-DÍAZ, M. (2004). *Actividades para evaluar ciencias en secundaria*. Madrid, Machado Libros.
- PORLÁN, R. (1998) Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias. *Revista Enseñanza de las ciencias*, 16(1), 175-185.
- PORLÁN, R. y MARTÍN DEL POZO, R. (2006) ¿Cómo progresa el profesorado al investigar problemas prácticos relacionados con la enseñanza de las ciencias? *Alambique*, vol 48.
- PORLAN, R. y RIVERO, A. (1998) *El conocimiento de los profesores*. Diada Editorial. España.
- QUINTANILLA, M. (1999). El dilema epistemológico y didáctico del currículum de la enseñanza de las ciencias. ¿Cómo abordarlo en un enfoque CTS? *Revista Pensamiento Educativo* Vol. 25. 1999 Facultad de Educación PUC. ISSN 0717-1013
- QUINTANILLA, M. (2005) Historia de la ciencia y formación docente: una necesidad irreducible. *Revista TED* (número extra) de la Universidad Pedagógica de Bogotá, Colombia.
- QUINTANILLA, M., IZQUIERDO, M y 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 *Science & Education IHPST* 8, 15 –18 July, University of Leeds.
- TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana*. Vol. 1. El uso colectivo y la evolución de los conceptos. Madrid. Alianza.

Anexo 1.

Cuestionario estructurado utilizado como base para la identificación preliminar de las concepciones de los profesores en torno a cambio conceptual en ciencias, ideas previas, rol del profesor de ciencias, secuenciación de contenidos y naturaleza de la ciencia.

Afirmación	TD	D	A	TA
1. El cambio conceptual en ciencias está relacionado con la secuenciación creciente, según complejidad, de los contenidos presentados, los cuales son asimilados y acomodados en la mente del sujeto que aprende.				
2. Las ideas previas de los estudiantes son la base sobre la cual se puede construir conocimiento científico, incorporando nuevas situaciones que impliquen resignificación y reorganización de las formas de interpretar el mundo.				
3. Para que el cambio conceptual en ciencias sea “significativo” se ha de estructurar la enseñanza en el contenido de la disciplina, es decir, en los principios teóricos que cada área de conocimiento ha establecido, sin dar mucha importancia a lo que el estudiante ya sabe.				
4. El conocimiento del contenido científico a enseñar es el aspecto más importante para lograr procesos de cambio conceptual en los estudiantes.				
5. El cambio conceptual en ciencias obedece a un proceso lineal y acumulativo, de acomodación de información que el estudiante puede aplicar en cualquier situación que lo requiera.				
6. El papel del profesor es de carácter protagónico e imprescindible para la consolidación del cambio conceptual en el aprendizaje de las ciencias.				
7. El cambio conceptual en ciencias es un proceso activo de construcción de representaciones mentales sobre el mundo, en el cual estas se llegan a ir consolidando de forma cada vez más estable.				
8. Las teorías científicas representan de forma inequívoca lo que sucede en el mundo real, y esas son producto de la actividad científica rigurosa en la que se logra descubrir y describir el mundo real.				
9. En el proceso de consecución del cambio conceptual en ciencias es fundamental la instrucción dada al individuo, el cual la apropia de forma individual y la refleja en la conducta que presenta al final del proceso.				

Capítulo 4

Los campos formativo, epistemológico e investigativo: elementos que aportan a una ciencia emergente como la didactología

Hernando Velásquez Montoya
Pontificia Universidad Católica de Chile
Chile

Resumen

Este artículo tiene como propósito presentar los elementos teóricos alrededor de los campos estructurantes de la didactología como disciplina científica. Por lo que se parte de posicionar la didactología como ciencia autónoma y emergente, enseguida, y con el fin de visualizar con claridad la discusión en torno a la delimitación del campo formativo y epistemológico de la didactología, se destaca la importancia que para ella tienen la naturaleza de la ciencia, la historia de la ciencia y la sociología. Finalmente, se muestra cómo existe hoy en día un cuerpo de conocimientos que permite presentar unas líneas de investigación propias.

Abstract

This article must like intention present the theoretical elements around the estructurant fields of the didactology as a scientific discipline. Reason why part to position the didactology like a independent and emergent science, immediately, and with the purpose of visualizing with clarity the discussion around the boundary of the formative and epistemologic fields of the didactology, it is shown the importance that has for it the nature of science, the history of science and sociology, finally appears as today a body of knowledge exists that allows to present own lines of investigation.

Palabras clave

Didactología, epistemología, naturaleza de la didáctica de las ciencias, sociología de la didáctica de las ciencias, líneas de investigación de la didáctica de las ciencias.

Introducción

Para muchas personas quizás el vocablo “didactología” pase inadvertido o tal vez no le diga mucho. Y, en verdad, esta es una expresión poco conocida por el común de las personas; palabra que se está abriendo camino en ciertos espacios educativos, donde viene cobrando interés; y que en la literatura se conoce como “didáctica de las ciencias”. Este hecho hace imprescindible seguir trabajando alrededor del término, para lograr una mayor socialización en diferentes escenarios de la sociedad, que permita vincular su real importancia y relevancia al servicio de la educación.

Aparece así en escena el reto de la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia y con ella casi treinta años de historia de la didáctica de las ciencias “didactología”, que muestran evidencia empírica de su desarrollo y le permiten presentarse como una disciplina científica, tal como lo plantean Adúriz-Bravo e Izquierdo (2002), “la evolución general de la didáctica de las ciencias en todo el mundo está marcada por grados crecientes de integración de sus llamados registros teóricos (epistemológico, psicológico y pedagógico; Martinand, 1987; Adúriz-Bravo, 1999/2000). De ellos surge una genuina perspectiva didáctica independiente, cada vez menos deudora de las fuentes externas. Esta alta especificidad epistemológica es la que permite a la didáctica de las ciencias constituirse como comunidad académica y ser reconocida desde el exterior”.

Si bien su proceso histórico de más de treinta años, marcado por estudios e investigaciones, publicaciones, congresos, su reconocimiento como área de conocimiento específico entre otros, le han permitido consolidarse como disciplina científica, emergente, autónoma; también es cierto que aún persiste mucho desconocimiento sobre esta disciplina, por lo que algunos, de los profesores de ciencias todavía tienden a concebir la didactología (didáctica de las ciencias) como una disciplina eminentemente aplicada. De otra parte, los problemas alrededor del conocimiento científico cada día son mayores, y la necesidad de resolverlos se puede ver ratificada en el diario llamado que desde diferentes ámbitos se hace a la alfabetización científica y tecnológica, a la necesidad de hacer accesible a todos, la educación científica, posición que es ratificada por la UNESCO, cuando propone: “Las ciencias deben estar al servicio del conjunto de la humanidad y contribuir a dotar a todas las personas de una comprensión más profunda de la naturaleza y la sociedad, una mejor calidad de vida y un entorno sano y sostenible para las generaciones presentes y futuras” (UNESCO-CIUC 1999, Declaración de Budapest)

Consecuente con lo anteriormente dicho, el presente artículo describe en primer lugar, una posición de la didactología como ciencia, para luego, entrar a plantear el campo formativo de la misma, y posteriormente, realizar un análisis de la didactología, desde la perspectiva del conocimiento científico, que permita, en última instancia, mostrar la investigación como un eje estructurante de esta ciencia emergente.

Hacia un Posicionamiento de la Didactología como Ciencia

Para empezar, digamos entonces, que desde hace unas cuantas décadas, se viene realizando un ejercicio organizado y sistemático acerca de lo que sucede en la educación y más exactamente en el campo de la enseñanza de las ciencias y sobre la forma como se desarrolla la interacción entre profesores y alumnos en el aula. Hecho

que ha conducido a varios inquietos educadores e investigadores a plantearse la necesidad de explorar este campo para descifrar lo que allí acontece, a partir de la interacción de los dos agentes referidos (profesor – alumno) y el conocimiento científico, con el propósito de aportar al crecimiento y cualificación del acto educativo propiamente tal.

Es entonces, cuando aparece el interés por estudiar esta relación en torno a la forma como se debe manejar el conocimiento científico para lograr no solamente su transmisión, recreación y asimilación por parte de los implicados, sino alcanzar a construir un conocimiento erudito como resultado de dicha interacción. Este acontecer llevó a trascender el papel de la didáctica como una metodología para enseñar, para ubicarla en una disciplina teórica e histórica, como un metadiscurso, tal y como lo plantea Adúriz-Bravo (2001) “Entendemos por didáctica aquel metadiscurso o discurso de segundo orden, que predica sobre el discurso de la enseñanza, también llamado discurso didáctico por autores como Fernández Arenaz (1984). Esto es, llamamos didáctica a la disciplina cuyo objeto de reflexión es la práctica en las aulas, y no directamente a dicha práctica”.

La necesidad de una mayor claridad entre la visión práctica e instrumentalizada de la didáctica, vista como la aplicación de conocimientos a partir de métodos, técnicas e instrumentos y la didáctica como un metadiscurso o discurso de segundo orden, condujo a Estany A. e Izquierdo M. (2001) a plantear el nombre de didactología. Quienes entienden la didactología como “la ciencia de enseñar ciencias, que puede ser considerada ahora una nueva disciplina emergente, un nuevo campo científico que tiene que ver con la planificación, la ejecución y la evaluación de esta enseñanza en base a un planeamiento teórico”.

Permiten soportarla como disciplina emergente, la presencia de un colectivo científico, que exhibe una serie de investigaciones propias de su naturaleza disciplinar y que se evidencian en publicaciones; que de otra parte han sido revisadas y consolidadas en estudios, que han permitido estructurar bases de datos alrededor de las producciones realizadas en el siglo XX, por autores como (Martínez Terrades 1998, Gil Pérez, Carrascosa Alís, Martínez Terrades, 2000, Adúriz-Bravo 2001, Adúriz-Bravo e Izquierdo 2002). Este escenario se ratifica cuando (Izquierdo 2000) afirma: Este campo de estudio denominado didactología, encargado de la enseñanza de la ciencia, ha venido siendo estudiado durante más de tres décadas de manera disciplinar e interdisciplinar por didactas de las ciencias, psicólogos, epistemólogos, pedagogos y en general profesionales de las ciencias de la educación. De otra parte, y como lo señalan (Gil Pérez, Carrascosa Alís y Martínez Terrades, 2000) las dos condiciones que aparecen asociadas al desarrollo de un nuevo campo de conocimiento se dan en la didáctica de las ciencias.

- La existencia de una problemática relevante, susceptible de despertar el suficiente interés para justificar los esfuerzos que exija su tratamiento y
- El carácter específico de dicha problemática, que impida su tratamiento efectivo desde un cuerpo de conocimientos ya existente.

Este constructo teórico y metodológico, que da razón de la enseñanza de las ciencias también es considerado como una ciencia autónoma, por cuanto si bien es cierto que la enseñanza de las ciencias requiere soportarse en otras disciplinas como la epistemología, la psicología cognitiva, la sociología, las neurociencias, también es

cierto que ella posee un marco teórico específico y propio; en palabras de (Izquierdo, 2001) “una disciplina con carácter propio, dotada de una perspectiva teórica autónoma que está conectada con otras, pero que no se limita a constituir un conglomerado de saberes ni una aplicación de modelos teóricos externos a situaciones de aula particulares”

Los párrafos anteriores, dan cuenta de cómo irrumpe la didactología o la didáctica de las ciencias como disciplina científica, emergente, autónoma, soportada en un metadiscurso que no presenta dependencia de la didáctica general, y deja de lado la concepción metodológica tradicional; pero que puede observarse más cercana a las denominadas didácticas especiales de las distintas ciencias, sin que ellas hayan sido necesariamente sus generadoras tal y como lo plantean Adúriz-Bravo e Izquierdo (2002) cuando aseveran “La didáctica de las ciencias actual surge más de una confluencia de la actividad en Europa continental con la investigación anglosajona en science education, de naturaleza inicialmente curricular y psicologista, que como una heredera directa de las llamadas didácticas especiales de las distintas ciencias (de las cuales pueden verse ejemplos en Bregazzi, 1966; Sandin, 1967 y Spencer y Giúdice, 1968).”

Campo Formativo de la Didactología

El apartado anterior permitió posicionar la didactología como la ciencia de enseñar ciencias, en la enseñanza de una disciplina específica, de unas ciencias específicas (naturales, sociales, humanas). Condición que la aboca a dar razón de la forma como se enseña ese conocimiento científico, esa disciplina, esa ciencia y qué enseñar de la disciplina. De esta manera se ubica a la didactología en un espacio definido, el espacio educativo, específicamente en un aula donde se encuentran unos actores que se relacionan y que tienen un fin común, el conocimiento científico.

En ese espacio denominado aula, históricamente hemos encontrado la triada conformada por el profesor – el alumno – el conocimiento, o desde una mirada más general la triada enseñanza – aprendizaje – saber. Sin embargo, son las investigaciones realizadas en los últimos treinta años, las que se preocuparon por el estudio del binomio enseñanza – aprendizaje y dieron cabida a los contenidos científicos específicos de una disciplina, que como es lógico, tienen unas características teóricas y metodológicas propias y generan un tipo de problema que no siempre es homologable a los contenidos científicos de otra disciplina, incluso aun que éstas hagan parte de los contenidos establecidos en un mismo currículum escolar.

Considerar que el proceso de enseñanza - aprendizaje de las ciencias, presenta características y dificultades propias, y que su estudio está vinculado con diversas áreas, permite concebir la existencia de un marco teórico específico y propio para transmitir la cultura científica generada, de tal forma que se pueda apropiar, aplicar y hacerla evolucionar. Es decir, permite definir su objeto de estudio, que como se ha venido planteando no es otro que el de la enseñanza de las ciencias. Por lo tanto, y en palabras de Estany A. e Izquierdo M. (2001) “La didactología es la ciencia que estudia los fenómenos de enseñanza de las disciplinas científicas, las condiciones de transmisión de la cultura científica y las condiciones de adquisición de conocimiento por parte del que aprende. También le corresponde decidir qué tipo de ciencia enseñar y cuáles son los componentes de la educación científica”.

La perspectiva anterior invita a la pregunta por ¿Cuál es el papel del maestro en el contexto de la didactología?, y a ubicarnos inicialmente en el profesor de ciencias, el profesor que requiere tener un extenso conocimiento de la ciencia que va a trabajar, la que le permitirá la interacción con sus estudiantes, es decir, debe tener un conocimiento epistemológico sobre la ciencia, verbigracia, sobre la lingüística, la historia o la geografía, Así, un profesor de la lengua española, deberá dar razón de la historia del español, de quienes hablan español; ubicar la historia en un contexto mundial, saber la génesis del lenguaje español, cuáles fueron las primeras ideas que se fueron tejiendo alrededor del lenguajes español, esto es, debe dar cuenta del conocimiento que se enseña y aprende. Pero también, debe saber sobre y alrededor de la enseñanza, cómo se construye el conocimiento científico en el aula, qué teorías subyacen al concepto de enseñanza, cuál es la historia de la enseñanza, cuáles son las relaciones inmediatas de la enseñanza - aprendizaje - evaluación – y qué tipo de sociología soporta la enseñanza

Según lo planteado, hasta ahora en este apartado, la didactología se centra entonces en dos grandes ejes, por un lado, los contenidos de la ciencia desde el punto de vista de su enseñanza y aprendizaje, y por el otro, los contenidos de la ciencia a enseñar. En consecuencia, tal como aduce Adúriz-Bravo (2001), el campo formativo de la didactología ha de encargarse de estudiar:

- Las teorías didácticas
- Las teorías curriculares, teorías de contenidos escolares, teorías de formación de docentes
- La naturaleza del contenido disciplinar que se enseña
- El conocimiento y la práctica de los profesores de ciencia.

Las citas que a continuación se presentan, dan cuenta de cómo se ha venido incorporando al curriculum, las propuestas elaboradas por diferentes didactólogos, alrededor de la didactología. En la didáctica de las ciencias actual existe un reconocimiento generalizado de que la formación en la filosofía e historia de la ciencia debería ser uno de los componentes fundamentales de la alfabetización científica general de la población (Millar y Osborne, 1998). Hoy en día se concede en el ámbito académico una importancia similar al aprendizaje de los contenidos y procedimientos científicos y al aprendizaje acerca de la propia naturaleza de la ciencia y de su relación con la sociedad y la cultura (Matthews, 1994; Duschl, 1997; McComas et al., 1998). Consecuentemente, los currículos de ciencias de muchos países han comenzado a incorporar recomendaciones y contenidos que apuntan en esta dirección (Matthews, 1998).

Análisis de la Didactología desde la Perspectiva del Conocimiento Científico

Se ha argumentado que “la didactología es la ciencia de enseñar ciencias, por ello uno de sus fundamentos teóricos lo constituyen la reflexión sobre la ciencia misma; y ésta nos la proporciona la filosofía de la ciencia. Con esta reflexión, Izquierdo nos invita a ver cómo la aventura de aprender, es una aventura humana que se construye a partir del conocimiento que nos aportan las ciencias. Así, la naturaleza de la didactología le permite posicionarse desde sí misma y jugar un papel protagónico frente a la enseñanza de la ciencia, condición que demanda estudiarla a partir de su componente epistemológico.

Entendida la epistemología como “equivalente a metaciencia en un sentido amplio (Mosterin, 1982; Moulines, 1982; Klimovsky, 1994), es decir, como la disciplina científica que tiene por objeto de estudio específico la ciencia en general y cada una de las ciencias en particular”. En este sentido la epistemología toma libremente elementos de la historia, la sociología y la psicología de la ciencia (Adúriz-Bravo 2001).

Este campo estructurante de la didactología, hace que ésta se soporte en fundamentos científicos de la historia de la ciencia, la epistemología de la ciencia y la sociología de la ciencia, tal como se puede constatar, en la mirada de los siguientes autores, cuando expresan:

1. La enseñanza de las ciencias debería ser una enseñanza sobre la ciencia, así como en la ciencia. Usando la terminología del currículo nacional británico, los estudiantes de ciencia en la secundaria deberían aprender algo sobre la “naturaleza de la ciencia”, así como el contenido de la ciencia propiamente dicha. (Matthews, 1994).
2. Las relaciones teóricas entre la epistemología y la historia de la ciencia, por una parte y la didáctica de las ciencias, por la otra, constituyen un sistema conceptual complejo, en el que resulta difícil precisar hasta que punto cada una de estas disciplinas implica y es implicada por las otras (Adúriz-Bravo, 1999b, 2001e)
3. Y que decir de la sociología de la ciencia, no se puede desconocer como “en los últimos años la sociología de la ciencia está dando lugar a una “nueva historia de las ciencias” en la cual las ciencias sociales y culturales adquieren un gran protagonismo, que alcanza al propio lenguaje” (Izquierdo M, 2000)

Las referencias anteriores ilustran la manera como la didactología reflexiona sobre la epistemología de su práctica, o sea, hace una mirada sobre el conocimiento de la enseñanza, cuerpo de conocimientos integrados y fundamentados en las teorías científicas del conocimiento propiamente tal; así como en las teorías o elementos fundantes de la ciencia que se enseña. De esta manera se evidencia la forma como la didactología recurre a diversos campos de conocimiento y se encarga de dar razón de cómo se enseña, cómo se genera, transforma y transmite el conocimiento científico.

En palabras de (Adúriz-Bravo, 2001) la didáctica de las ciencias y la epistemología discurrieron por carriles separados durante las primeras tres décadas de la existencias de aquella 1955 – 1985, este distanciamiento se ha estado revirtiendo muy rápidamente desde inicios de la década del 90, En los últimos cinco años ha habido un acercamiento significativo entre estos campos. Consecuencia del trabajo realizado por investigadores y profesores dedicados a la enseñanza de las ciencias han acercado cada vez más la historia de la ciencia y la filosofía de la ciencia a esta disciplina fundante, que se ha venido nombrando como didactología.

Es dable afirmar que la didactología se constituye en una mediación para la construcción del conocimiento científico, puesto que ella busca solucionar los problemas que se presentan en el acto de enseñar ciencias. Desde esta perspectiva le compete al docente convertirse en protagonista de un “cambio moderado”, que incorpore modelos que hagan explícito tanto la naturaleza de la ciencia como la historia de la ciencia, para mejorar la calidad de la enseñanza y superar dificultades del

aprendizaje. Tal como lo arguye (Adúriz-Bravo 2001) “se usa la epistemología como instrumento didáctico, por sus valores auxiliares intrínsecos dentro del proceso de desarrollo curricular.”

En el campo de la sociología, tal como lo afirma (Bourdieu, 2003) se requiere hacer un análisis sociológico de la ciencia que conduzca a un conocimiento dialógico y argumentativo en un campo científico, que en este caso estaría dado por la ciencia didáctica que supere una mirada dogmática e individualista, que tal como lo expresa este mismo autor, supere un conocimiento producido por un saber individual que se enfrenta en solitario a la naturaleza con sus instrumentos. En este caso que hemos planteado de un “conocimiento” que emerge de la interacción que se da en el aula, mediante la relación profesor – alumno, alumno – alumno.

Esta pretensión de lograr un colectivo que piense y construya saber social que le aporte a la didactología, exige primero que todo empezar a conocer los avances que se han venido dando en la didáctica de la ciencia que una vez aprendida pueda ser sometida al análisis epistemológico, histórico y sociológico de una acción científica, que evite de cara al futuro, cuando existe un gran avance de esta ciencia, los obstáculos para su propio progreso.

Y, que en un segundo lugar, se efectúe un trabajo que sistematice los diferentes conocimientos y prácticas de aula, en donde se generen canales de comunicación con distintas comunidades científicas en el área, redes de didactólogos o (constructores de la ciencia didáctica), que permita reproducir sus discursos de manera adecuada, que sirva para comunicar y expandir la experiencia en otros contextos y acreditar de esta forma la autoridad. Por último, se requiere legitimar el conocimiento que se produce en el aula ante la sociedad y en la misma comunidad educativa, que trascienda la didactología de un mero quehacer discursivo de la escuela, a una verdadera acción justificada de un conocimiento científico escolar, basado en un quehacer académico serio y comprometido con el hecho de hacer avanzar el conocimiento a partir de un cambio moderado de la relación entre profesor alumno y su interacción con el campo disciplinar.

En esta última parte y desde el enfoque de la sociología del conocimiento científico “la ciencia es una construcción social sujeta a ciertos procesos discursivos específicos que influyen tanto las versiones sobre ciertos temas como la organización del discurso, las maneras de hablar, de argumentar, de analizar, de observar, de construir con palabras el resultado de la experiencia”... de ahí “la escuela tiene reglas definidas de interacción social y en ellas se aprende una manera particular de describir el mundo que nos rodea (Candela, 1999)

Al recorrer este camino tal y como se ha planteado desde los planos anteriores epistemológico, histórico y sociológico, permite que el hecho de construir conocimiento escolar y trascenderlo hacia un conocimiento científico, sea posible, lo que admite compartir con Lenke, la idea de que hacer ciencia es construir con palabras el significado de la experiencia y que para ello se requiere de patrones temáticos de la ciencia. Al considerar que aprender ciencia es aprender a hablar sobre temas científicos que “el aspecto central de enseñar es que los alumnos establezcan conexión entre el patrón temático de la ciencia, que es el que tiene el maestro y los variados patrones temáticos que tienen los alumnos (Lente, 1990).

4. La Investigación: Eje Estructurante de la Didactología

Los apartados anteriores, sobre la didactología, permiten vislumbrar la existencia de un corpus teórico, consensuado y debatido por el conjunto de investigadores y tesisistas, lo que constituye un soporte fundamental para esta disciplina científica. Pero no cabe duda que se requiere seguir con este trabajo arduo y riguroso que permita continuar reflexionando acerca de los problemas que plantea la enseñanza y el aprendizaje de las disciplinas científicas; es decir, se debe ahondar en el sustento teórico de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, en las necesidades del profesorado de ciencias, en las diferentes prácticas educativas, en la implicación del estudiante en el aprendizaje, en la gestión del aula, en el papel de las tecnologías de la comunicación y la educación, en el papel de la educación científica y tecnológica, en las relaciones ciencia, cultura y sociedad.

Por que, si bien es cierto y como lo afirman (Gil, Carrascosa y Martínez 2000) “Hoy ya es posible construir un cuerpo de conocimientos en el que se integren coherentemente los distintos aspectos relativos a la enseñanza de las ciencias”, también es cierto, que por ser la didactología una ciencia emergente debe afrontar un escenario de tensiones y enfrenamientos que afectan los aspectos clave del cuerpo de conocimiento en construcción e incluso los métodos de investigación (Jiménez y García Rodeja 1997), se requiere proseguir con la realización de estudios e investigaciones que permitan superar los obstáculos que a hoy se siguen dando y frenan su pleno desarrollo y los aportes que esta disciplina puede ofrecer a un campo de trabajo tan problematizado como es el de la enseñanza – aprendizaje del conocimiento científico y con él, sus relaciones.

Las causas que a continuación se enuncian son algunas de las razones que explicitan la necesidad de la existencia de un campo investigativo, que muestre tradición científica alrededor de la didactología o didáctica de las ciencias.

- A pesar de existir una larga historia y toda una serie de estudios sobre los problemas de la enseñanza y el aprendizaje, tratados especialmente por la psicología educativa, no se puede desconocer las dificultades cada vez mayores alrededor de la enseñanza – aprendizaje de las ciencias y su necesidad de profundizar en ellos.
- La coexistencia de una serie de estudios e investigaciones realizados desde diferentes disciplinas (psicología, pedagogía) alrededor de la didáctica, ha creado confusión y una cadena de posiciones contradictorias, que han impedido y atrasado la indagación realizada alrededor de los distintos aspectos del proceso de enseñanza – aprendizaje de las ciencias, como lo han planteado (Gil, Carrascosa y Martínez 2000) “Podemos decir que la didáctica de las ciencias constituye un campo específico de investigación en la medida en que la problemática que plantea en el proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias lo es, es decir, en la medida en que los conocimientos son específicos y no pueden aprenderse (ni por tanto enseñarse) de la misma manera que p.e., los musicales o los de educación física”.
- El surgimiento de una disciplina requiere soportarse en fundamentos científicos y metodológicos que permitan superar dificultades epistemológicas “cuando una ciencia comienza a surgir, estas reflexiones son absolutamente necesarias – o, si se

prefiere, inevitables, por que dicha emergencia es algo que se realiza con dificultad (Gil Pérez, Carrascosa Alís y Martínez Terrades, 2000)

En la actualidad, la didactología ha alcanzado una posición favorable gracias a las indagaciones realizadas en los últimos decenios, las cuales ostentan un cuerpo de conocimientos integrado y fundamentado. Desde esta mirada, se presenta unas líneas de investigación que han sido abordadas y organizadas por distintos autores, se tiene en consideración el trabajo realizado por Gil Pérez, Carrascosa Alís y Martínez Terrades (2000) en didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias y el de Medina R. A. (2001) en Didáctica General.

Para el primer caso, los autores revisan el contenido de revistas internacionales especializadas y aclaran que no existe entre los diferentes investigadores acuerdo total sobre las que deberían ser las principales líneas de investigación. Las que ellos definen son, las siguientes:

- *Concepciones Alternativas*
- *La Resolución de Problemas*
- *Prácticas de Laboratorio*
- *El Diseño Curricular*
- *Relación Ciencia Tecnología Sociedad*
- *La Evaluación*
- *La Formación del Profesorado*
- *Las Cuestiones Axiológica*
- *Pertinencia de las Orientaciones Constructivistas como Marco Teórico*
- *El Papel de las Tecnologías en la Enseñanza.*

En relación al trabajo ejecutado por Medina, se encuentran tres enfoques alrededor de las investigaciones efectuadas en didáctica, de los cuales se toman dos de los ellos, por considerarlos pertinentes para a la investigación en didactología, son estos: El enfoque interpretativo intercultural y el indagador socio-comunicativo. En el interpretativo intercultural, destaca el trabajo realizado por Woods

- El análisis de interacciones de docente y estudiantes
- La interpretación de sus identidades y formas de intercambio
- La narración de la vida y biografías de los docentes y estudiantes
- El análisis de las relaciones y contrastes entre los participantes
- Los conflictos, las irracionalidades y los cambios en la conducta de docentes y estudiantes
- Las actuaciones verbales, no verbales y paraverbales del profesorado
- La comprensión de las reacciones profundas de los participantes, valorando sus percepciones e intervenciones en los procesos de enseñanza – aprendizaje
- En dónde, cuándo y con quién tienen lugar los diferentes tipos de actuaciones y reacciones.
- El tipo de actividades y tareas que se realizan en el proceso formativo.
- La cultura y las actuaciones de docentes según el género y organización de las escuelas.
- La ampliación de los análisis con respecto al tiempo, situaciones, variedad de métodos.
- El meta análisis de los rasgos y núcleos de interacción entre los participantes, en la clase y los centros.
- El estudio de los núcleos representativos y globales de los procesos de enseñanza – aprendizaje, ampliando la reflexión a aspectos cada vez más globales.
- El análisis de las instituciones en sus características y sensibilidades generales, profundizando en la vida y evolución de las relaciones

El enfoque indagador socio-comunicativo, integra los siguientes objetos de investigación:

- *El ecosistema del aula – centro*
- *El discurso entre docente, discente y comunidad educativa (dimensiones: semántica, sintáctica y pragmática).*
- *Las relaciones sociocomunicativas*
- *Los procesos de liderazgo*
- *La toma de decisiones:*
 - *Compartida – participada*
 - *Valorativo – generadora*
 - *Autoritaria - unidimensional*
- *Los espacio de conflicto – poder*
- *Las actitudes de empatía, paz y tolerancia*
- *La inquietud instructivo – formativa y la calidad del acto didáctico*
- *El compromiso institucional*
- *La cultura de la institución profesional*
- *El clima: dimensiones sociocomunicativas y transformadoras*
- *El proyecto innovador de centro.*

Conclusiones

Se requiere un mayor posicionamiento de este paradigma emergente, el cual cobra cada vez más importancia frente a la exigencia de la educación científica, que de acuerdo con Driver (1997) “aprender ciencias implica la entrada de los jóvenes a una forma diferente de pensar y de explicar el mundo”. Si bien existe un trabajo riguroso y sistemático alrededor de las ciencias naturales y sociales, es necesario persistir aún más, sobre todo desde aquellas disciplinas científicas que no han incursionado en él o que someramente se han acercado a su estudio, como son las ciencias administrativas y comunicativas, las cuales también requieren definir qué enseñar y visualizar cómo se aprenden.

Referencias Bibliográficas

- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M., (2002) Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma, Universidad Autónoma de Barcelona, en Revista electrónica de enseñanza de las ciencias volumen 1, No. 3.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M., (2002) Directrices para la formación epistemológica del futuro profesorado de ciencias naturales, en Pensamiento y conocimiento de los profesores debate y perspectivas internacionales, Pág. 127 – 139, Bogota, Universidad Nacional de Colombia Conciencias.
- Adúriz-Bravo, A, Izquierdo, M. y Estany, A., (2002) Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación, en Revista Enseñanza de las Ciencias, No. 20, Pág. 465-476.
- Estany A. e Izquierdo M., (2001) Didactología: Una ciencia de Diseño, en Separata ENDOXA: Series Filosóficas No. 14, Pág. 13-33, Madrid.
- Fernández G. M. (2000) Fundamentos Históricos, Capítulo 3, en Perales F. J, y Cañal P., (2000) Didáctica de las ciencias experimentales Teoría y Práctica de la enseñanza de las ciencias, Pág. 65 – 84. Marfil, España.
- Labarrere A. y Quintanilla M., (2002) La solución de problemas científicos en el aula. Reflexiones desde los planos de análisis y desarrollo, en Revista Pensamiento

- Educativo, volumen 30, Pág., 121-137, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Medina R. A., (2001), Investigación en didáctica y desarrollo del conocimiento práctico, Capítulo 3, En Medina Rivilla A y Salvador Mata F. (Cords) (2001): Didáctica General, Pág. 65-99. Prentice Hall, Madrid.
- Gil P. D. y Otros (2000) Una disciplina Emergente y un campo específico de Investigación, Capítulo 1, en Perales F. J, y Cañal P., (2000) Didáctica de las ciencias experimentales Teoría y Práctica de la enseñanza de las ciencias, Pág. 11 – 34. Marfil, España.
- Izquierdo Mercè. (2000) Fundamentos Epistemológicos, Capítulo 2, en Perales F. J, y Cañal P., (2000) Didáctica de las ciencias experimentales: Teoría y Práctica de la enseñanza de las ciencias, Pág. 35 – 64. Marfil, España.
- Quintanilla M., (2004) Algunas reflexiones que justifican la necesidad de comprender y direccionar la didáctica de las ciencias experimentales en la formación profesional del científico, En Revista Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas, Pág. 9-30. Bogotá.
- Sanmartí N. (2002) Necesidades de formación del profesorado en función de las finalidades de la enseñanza de las ciencias, en Revista Pensamiento Educativo, volumen 30, Pág., 35-60, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- UNESCO-CIUC. Declaración de Budapest. Declaración sobre la Ciencia y el uso del saber científico. Conferencia Mundial sobre la Ciencia para el Siglo XXI: Un nuevo compromiso. Hungría, Junio 1999.

Capítulo 5

El concepto de ley periódica a través de la historia de la química: Un análisis desde el modelo de evolución conceptual de Toulmin

Johanna Patricia Camacho González
Pontificia Universidad Católica de Chile
Chile

Resumen

En este artículo se aplica el modelo de evolución conceptual de S. Toulmin , al concepto ley periódica a partir de la historia de la química, desde los primeros intentos de sistematización de los elementos químicos con la propuesta de Döbereiner (1829) hasta la consolidación de ésta ley a cargo del inglés Moseley (1913). Este análisis se realiza con el propósito de evidenciar algunos aportes desde la Historia de la Ciencia, como campo metacientífico, que pueden contribuir a comprender cómo se construye conocimiento científico, aspecto relevante para la enseñanza de las ciencias. En principio, se realiza una breve descripción del modelo de Toulmin; posteriormente, se presenta la evolución del concepto ley periódica desde el modelo toulminiano y finalmente, se presentan algunos comentarios finales en función del análisis realizado y sus posibles contribuciones a la enseñanza de la química.

Palabras Claves: Ley periódica, Historia de la química, evolución de conceptos científicos.

Introducción

Desde la Didactología como un campo metacientífico, existe un reconocimiento generalizado en acerca de la importancia de incorporar el componente histórico en la enseñanza de las ciencias. Hoy en día existen varias investigaciones (Adúriz – Bravo, Izquierdo, Estany, 2002; Mathews, 1994; Izquierdo, Vallverdú, Quintanilla y Merino, 2006), que sustentan teórica y empíricamente que la incorporación de la historia de la ciencia, permite comprender cómo evoluciona la ciencia en el tiempo y cómo logran consolidarse las diferentes disciplinas científicas en los diversos y variantes contextos sociales y culturales.

El reconocimiento de la importancia de la Historia de la Ciencia en su enseñanza, hace que exista la necesidad de proponer nuevas actividades que permitan resignificar las prácticas educativas y que además contribuyan a considerar la ciencia como una actividad humana de educación, innovación, evaluación y aplicación, contextos que como plantea Echeverría (1995) interactúan e influyen recíprocamente en el desarrollo y evolución de la ciencia.

En el caso de la ley periódica, concepto fundamental en este análisis, se plantea que este surge en un momento histórico determinado, donde en principio existía la necesidad de organizar los elementos químicos existentes según sus propiedades y características, pero además se evidenciaba la insuficiencia de materiales que permitieran promover una mejor enseñanza de la química y la incorporación de éstos en las prácticas educativas. En este artículo, se presenta que la construcción de conocimiento científico, además de corresponder a contextos como el de descubrimiento y justificación, se desarrolla en contextos particulares como el de la educación científica propuesto por Echeverría (1995) que relaciona la enseñanza y divulgación de las ciencias, las cuales están socialmente reguladas y poseen técnicas propias que de alguna forma deciden la actividad científica que se debe involucrar en los procesos de formación de los ciudadanos y las ciudadanas.

Para comprender el análisis histórico realizado, se toma la propuesta del modelo de Stephen Toulmin (1977), el cual permite dar cuenta de la explicación del cambio científico en términos de cambio conceptual. Él propone en analogía con el sistema de evolución de Darwin, el estudio de la evolución de los conceptos científicos como unidad básica de aproximación a los objetos y problemas de las disciplinas intelectuales. Para ello, considera que la naturaleza de los problemas conceptuales de la ciencia surge por la distancia que hay entre los ideales explicativos, que no representan sólo las esperanzas lógicamente coherentes de los científicos, sino también sus expectativas razonables sobre la disciplina, y las posibilidades reales de la investigación científica.

Este capítulo tiene como propósito sustentar cómo se construye conocimiento científico en determinado momento histórico y cuáles son las herramientas conceptuales y metodológicas que se utilizan para alcanzar las finalidades propuestas. Para ello, se aplicó el modelo de Toulmin al concepto de ley periódica, desde los primeros intentos de sistematización de los elementos químicos con Döbereiner hasta los trabajos propuestos por Moseley quien consolidó los principios de esta ley formulada por Mendeléiev en 1889. Consideramos que este modelo permite contribuir a la comprensión de una *racionalidad moderada* acerca de los hechos, fenómenos,

métodos y contextos en los que dicho conocimiento se produce, se divulga y se enseña, aspectos relevantes para la formación de profesores de ciencias y para la enseñanza de la ciencia en general y de este concepto en particular.

El modelo de Toulmin

Toulmin (1977) describe el contenido de una disciplina científica con referencia a tres conjuntos relacionados entre sí I) los objetivos explicativos corrientes de la ciencia; II) su repertorio de conceptos y procedimientos explicativos, y III) la experiencia acumulada de los científicos que trabajan en esta disciplina particular. Esta clasificación hace que sea posible identificar diferentes clases de situaciones problemáticas, los cuales juegan un papel importante en el transcurso de la investigación científica: a) fenómenos de las ciencias de la naturaleza que él denomina racionales sin procedimientos disponibles; b) fenómenos científicos explicados hasta cierto punto, usando procedimientos explicativos corrientes, pero con respecto a los cuales los científicos desearían explicaciones más completas y más precisas; c) problemas que se presentan cuando se considera la mutua relación entre conceptos que coexisten en una misma rama de la ciencia; d) problemas que conciernen a la mutua relación entre conceptos que coexisten en diferentes ramas de la ciencia y que por tanto, son posible de explicar desde diferentes ángulos y naturalezas y, e) problemas que surgen de conflictos entre conceptos y procedimientos corrientes de las ciencias especiales y las ideas y actitudes corrientes de la gente en general.

Para abordar estas situaciones problemáticas, Toulmin establece desde el proceso histórico del cambio conceptual en las disciplinas intelectuales un modelo de población que se puede representar de tres maneras alternativas (no excluyentes entre sí). Cada una de ellas corresponde a un corte de tiempo sucesivo a través del contenido intelectual de la disciplina, es decir, mediante la evolución de cada uno de los conceptos científicos que la constituyen. La primera vía, denominada *transversal* analiza el proceso en una secuencia de “conjuntos representativos”, que abarquen la totalidad de los conceptos vigentes en la disciplina en tiempos sucesivos, esta vía permite enfocar la atención a cuestiones concernientes a la racionalidad, precisamente en lo que respecta a los cambios “no lógicos” entre conjuntos representativos sucesivos de conceptos; la vía *longitudinal* o *genealógica*, considera el desarrollo posterior y el destino ulterior de conceptos particulares a lo largo de toda la historia de su vida, esta vía hace aún más evidente la continuidad racional, y la vía *evolutiva* o *combinada*, que permite analizar el cambio conceptual como el resultado de un proceso dual de variación conceptual y selección intelectual, en esta vía se registra explícitamente el hecho de que sólo algunos de los conceptos corrientes de una disciplina son, en cualquier etapa en particular, temas activos de debate e innovación.

Este modelo de cambio científico además de proporcionar categorías para comprender el desarrollo histórico y evolutivo de las ciencias, incorpora criterios que intervienen en la selección de variantes conceptuales, en aquellos casos *claros*, es decir donde hay cambios rutinarios y estos criterios están bien definidos y en aquellos casos *nebulosos*, en donde hay casos excepcionales donde lo que se pone en cuestión son los propios criterios de racionalidad. En ambos casos, se consideran los factores internos

que giran alrededor del concepto en madurez, como por ejemplo, los aspectos relacionados con los modelos matemáticos, la disponibilidad de instrumentos, entre otros, y los factores externos, como los sociales, políticos, religiosos. Esto permite afirmar que la construcción de conocimiento científico y la evolución de los conceptos, subyacen de manera compleja y que existen determinados contextos, situaciones y problemas a los que se enfrentan los científicos a la hora de proponer determinados conceptos que le permitan describir y representar las ideas sobre el mundo, donde el juicio personal, la comunidad que integran, los contextos a los que pertenecen determinan su propia acción. A través de la propuesta de evolución conceptual de Toulmin, se presentan a continuación algunos aspectos en relación al desarrollo del concepto Ley Periódica.

Ley periódica. Antecedentes, formulación y consolidación

A lo largo de la química, surge la necesidad de construir explicaciones a propósito de la naturaleza de las cosas que nos rodean, ¿Qué son? ¿Cómo son?, ¿De qué están hechas? Al respecto, han surgido diferentes y varias posiciones que por un lado dan cuenta del principio básico del que se constituyen las sustancias: agua, tierra, aire, fuego, para los griegos; mercurio, azufre y sal para Paracelso (1493–1591). También, dentro de la historia de la química, han surgido preguntas que indagan a cerca del principio activo del cambio químico, para la que se han propuesto varias respuestas: tierra y agua según Boyle (1627-1691); fuego para Boerhaave (1668–1738); tierra y agua (tierra vitrificable, tierra volátil y tierra grasa) para J. Becher (1637–1682); flogisto desde la propuesta de Sthal (1660-1734); entre otras. A partir de lo anterior se puede plantear que la química puede ser considerada como una disciplina científica que busca dar respuesta a las diferentes necesidades que surgen y que para ello, se desarrollan conceptos los cuales pueden estar constantemente en evolución y desarrollo.

Antoine Lavoisier (1743-1794), a mediados del S. XVIII, además de proporcionar argumentos que dieran cuenta de la naturaleza de las sustancias, estableció el problema de la enseñanza y la necesidad de proponer estrategias que permitieran estudiar el conjunto de conocimientos acumulados sobre las sustancias hasta entonces conocidas (C_L^a), *en relación con las propiedades de los cuerpos compuestos con las de los cuerpos simples que la componían* (Linares, 2004). Bajo este propósito, Lavoisier formuló junto con Guyton de Morveau, Berthollet y Fourcroy un sistema de nomenclatura *Méthode de nomenclature chimique* (1787) y publicó *Tratado elemental de Química* (1789), uno de los textos más reconocidos para la enseñanza de la química. Pero además, planteo la necesidad de establecer cierto orden entre las sustancias, para ello en 1790 propuso una tabla de sustancias simples las cuales las diferenciaba de elementos: “*no son en sentido estricto elementos, sino que son susceptibles de descomponer y redescomponer*” (Lavoisier, 1783), esta tabla se caracterizó por la presencia de 33 sustancias, entre ellas la luz y el calórico, que posteriormente por no considerarse sustancias químicas fueron eliminadas. A partir de los trabajos de Lavoisier, emergieron varios interrogantes, los cuales ocuparían a la comunidad de químicos durante el S. XIX principalmente, preguntas en cuanto la proporción de las sustancias, los nombres y la organización, tema del que nos ocuparemos específicamente.

Varios químicos y de diferentes lugares, formularon propuestas para dar cuenta de la organización de las sustancias en relación a sus características y propiedades. En 1813 el químico sueco Berzelius (1779-1848), instituye en función de su naturaleza eléctrica un sistema de nomenclatura (C_B^m) y a partir de la determinación de determinados pesos atómicos (C_B^n) propuso una tabla que evidenciaba cierto orden entre las sustancias existentes (C_B^l). Döbereiner (1780–1849), asumiendo los pesos atómicos de la tabla de Berzelius, agrupó según las analogías que presentaban algunas sustancias, las sustancias en un sistema de triadas demostrando algunas relaciones entre las características de las sustancias y sus pesos atómicos (C_D^m).

Sin embargo, debido a la gran complejidad que existía y al poco consenso de la comunidad de químicos en la época, en relación a la definición de conceptos tales como los expresados por las palabras átomo, molécula, equivalente, atomicidad, basicidad, pesos, y nomenclatura, los sistemas de ordenación no lograban precisar efectivamente la relación entre propiedades y organización.

Posterior al Congreso de Karlsruhe de 1860, donde se abordaron algunas de estas dificultades, inicio de manera más vertiginosa la formulación de sistemas que dieran cuenta de la organización de las sustancias, algunas propuestas se guiaron por la búsqueda de una sustancia a partir de la cual se pudiera explicar la existencia de las demás y otras propuestas, pretendían sustentar principios explicativos acerca de la organización de las sustancias, por lo que apelaron a la formulación de una ley científica. Ambas formas de abordar la problemática de la organización se vieron atravesadas por dificultades en cuanto la definición de algunos conceptos, el problema en definir y distinguir elemento de sustancia simple y átomo¹⁴; por el pequeño número de elementos conocidos y por la inscripción de algunas entidades físicas, por ejemplo: el calórico, la electricidad, la luz y posteriormente el éter, deficiencias que fueron superadas en la medida que se introducían nuevos conceptos, los cuales hacían referencia a propiedades en sí de las sustancias químicas. Pero además, los sistemas de ordenación presentados, también se vieron empañados por el poco reconocimiento que se les otorgaba a los trabajos presentados, por parte de la comunidad científica de la época.

Desde la primera posición fundamentada a partir de la Hipótesis de Proust (C_p^a), la organización de las sustancias se basó a partir de una sustancia elemental. El mineralogista, Alexander Béguyer de Chancourtois (1820 – 1886) presentó ante la Academia de Ciencias en París su *vis tellurique* (caracol telúrico o tornillo telúrico) denominado así porque el <<telurio ocupaba un lugar central en el sistema y porque el epíteto “telúrico” evoca acertadamente un origen geognóstico, pues *tellus* significa tierra en el sentido más positivo, más familiar, en el sentido de la tierra que subviene a las necesidades>> (Bensaude-Vincent, 1991) (C_c^a). Él dispuso casi cincuenta elementos en una línea espiral sobre un cilindro vertical con una circunferencia de 16 unidades, correspondiente al peso atómico del oxígeno. Situaba los elementos sobre la espiral ordenándolos según sus pesos atómicos crecientes y sugirió que “las propiedades de los elementos son propiedades de los números”. De esta manera en su propuesta aparece

¹⁴ Esta distinción fue abordada en Linares, R. (2004). *Elemento, átomo y sustancia simple. Una reflexión a partir de la enseñanza de la Tabla Periódica en los cursos generales de Química*. Tesis de Doctorado para la obtención del título de Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra: España.

por primera vez el concepto de periodicidad (C_c^o) de los elementos, afirma Román (2002). Por múltiples razones entre las que se menciona la mezcla de cuerpos simples con cuerpos compuestos, la complejidad de su representación y las impresiones de sus valores numéricos (Bensaude-Vincent, 1991) este sistema no tuvo ningún éxito.

Con el propósito de formular una ley que diera cuenta de la organización de las sustancias (C_o^b), el inglés Odling (1829 - 1921) basado en un conjunto de propiedades como los calores (C_o^p) y volúmenes atómicos (C_o^q), el isomorfismo (C_o^r) y la basicidad y acidez de las sustancias (C_o^s), estableció un sistema de trece grupos naturales (Brock, 1992). Aunque la propuesta de Odling hace manifiesta la relación entre los pesos atómicos de los elementos y sus propiedades y deja algunos espacios en blanco (C_o^x), en lugar de mejorar su sistema en sucesivas publicaciones, él parece retroceder y, en 1868, presentó una nueva tabla menos completa (Bensaude-Vincent, 1991). Si en este punto del análisis tomamos en cuenta lo formulado Toulmin (1977), podría decirse que el cambio conceptual no puede ser efectivo al ser abandonado o al morir automáticamente con sus creadores y esto explica porque la propuesta de Odling no tuvo mayor trascendencia.

John Newlands (1838–1898), por su parte, formula a través de varias publicaciones entre 1863 - 1865 la ley de las octavas (C_N^b). Él, ordenó los elementos¹⁵ químicos por sus pesos atómicos crecientes – aunque en realidad empleó equivalencias (C_N^r) y no los pesos atómicos- (Román, 2002) y propuso una tabla con ocho columnas de siete elementos cada una al notar que las propiedades se repetían cada siete elementos. De la misma manera que la propuesta de Odling, la establecida por Newlands no fue muy bien acogida por la Chemical Society of London, pues aunque su tabla contenía muchos pesos erróneos y no evidenciaba propiedades semejantes en las filas horizontales, su rechazo se le atribuye al jocoso comentario del Profesor George Carey Foster, quien preguntó si una clasificación de elementos por orden alfabético no hubiera revelado coincidencias igualmente interesantes (Bensaude-Vincent, 1991; Brock, 1992; Román, 2002 y Scerri, 1998). Volviendo al análisis desde la perspectiva de Toulmin (1977), se puede afirmar además, que esta propuesta no fue tomada en serio porque los miembros de la comunidad de químicos consideraron que no presentaba la posibilidad científica de contribuir a la problemática, condición necesaria para ser reconocida como innovación conceptual genuina.

Las propuestas de los profesores de química Julius Lothar Meyer (1830-1895) de la Universidad de Breslau (C_{MJ}^b) y Dimitri I. Mendeléiev (1834-1907), Universidad de San Petersburgo (C_{MD}^b), además de la búsqueda de una ley que permitiera dar cuenta de la manera como se organizan los elementos químicos, coincidieron en la curiosidad y reflexividad que los dos tenían en cuanto la manera de enseñar las propiedades y características de cada uno de los elementos, sin presentarlo en una lista de monografías detallada de cada uno. Este aspecto les permitió a estos profesores elaborar dos textos de química *Die Modernen Theorie der Chimie* (1862) y *Principios de Química* (1869), respectivamente, donde ambos expusieron algunos principios explicativos y predictivos

¹⁵ Se utiliza la palabra elemento, porque es a la que alude Newlands en: Newlands, J. (1865). *On the Law of Octaves*. Chemical News Vol. 12, August 18, 1864, 83.

en relación con la ley que daba cuenta de la organización de los elementos químicos, denominada por Mendeléiev como *Ley Periódica* en 1889.

La propuesta de Meyer publicada un año después de darse a conocer el artículo de Mendeléiev *On the Relationship of the Properties of the Elements to their Atomic Weights* (1869), se caracterizó por incluir los metales de transición entre el hierro y el níquel (C_{MJ}^u), por evidenciar la existencia de algunos elementos aún sin descubrir (C_{MJ}^{xi}) y por relacionar las características de los elementos químicos con los pesos atómicos de Gerhardt ($C_K^{n'}$), expuestos en el Congreso de Karlsruhe.

Además de la relación entre pesos atómicos (desde lo presentado por Gerhardt y algunas correcciones que realizó ($C_{MD}^{n'i}$)) y propiedades de los elementos químicos, Mendeléiev asocio otras propiedades como el isomorfismo (C_{MD}^{ri}) y las valencias de los elementos (C_{MD}^v). De esta manera, presentó en 1889, los principios (C_{MD}^w) que sustentan la ley periódica, además de concebir no sólo la existencia de otros elementos (C_{MD}^{xii}), sino también las propiedades que podrían tener en función a la relación periódica que existía entre los elementos con características similares, aspecto que le permitió dar *madurez* a su propuesta y que fue relevante para ser acogido por la comunidad científica, tanto química como educadora, una vez se empezaron a confirmar sus predicciones con los trabajos del francés Paul Émile Lecoq (C_L^{y*}), el sueco Lars Fredrick Nilson (C_N^{y*}) y el alemán Clemens Alexander Winkler (C_W^{y*}) y con el surgimiento de una nueva familia, los gases nobles ($C_R^{z_1}$), para quienes también eran comunes los principios establecidos en la ley periódica. Posteriormente, con los estudios acerca de la naturaleza del átomo, los trabajos elaborados por Moseley (1913), evidenciaban que se podía dar cuenta de las propiedades de los elementos químicos a través de los números ordinales (C_{MH}^x) que Mendeléiev había propuesto en la tabla periódica. Este nuevo concepto, le permitió al norteamericano Glenn Theodore Seaborg incorporar las tierras raras, la familia de lactanidos, actínidos y superactínidos ($C_S^{z_2}$), dentro de los principios de la ley periódica.

La selección de pesos de Gerhardt y corrección de algunos pesos, por parte de Mendeléiev, junto con la predicción y confirmación de elementos y sus propiedades, permitieron argumentar la manera en como se podían ordenar los elementos. A pesar, que en cada una de las propuestas, los científicos se apoyaron en representaciones gráficas, tablas periódicas, que les permitían visualizar ciertas regularidades en las propiedades de los elementos, representaciones siempre acordes con la forma en que ellos concebían dicha relación, sólo hasta que se establecieron ciertos principios generales que permitieron resolver los problemas y las inconsistencias que se presentaban en los anteriores sistemas periódicos, se fue incrementando el poder explicativo de ley periódica.

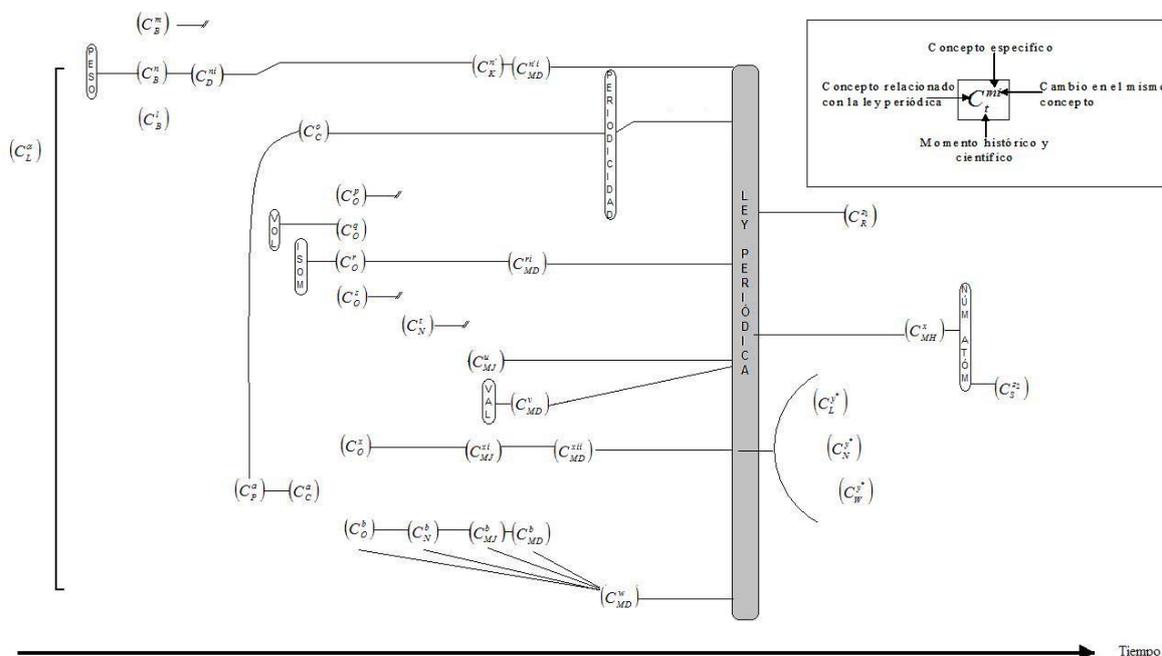
La ley periódica fue adoptada no sólo como una ley científica que permitió formular generalizaciones de carácter universal, predictivo y explicativo, sino que como afirma Scerri (2000), permitió distinguir las leyes de la química de las leyes típicas de la física, la repetición de los elementos después de ciertos intervalos es solamente aproximada; el período de la repetición varía de acuerdo con el progreso del sistema periódico, estas características sugieren que la naturaleza de las leyes científicas difiere

de un área científica a otro y por tanto, no se deben evaluar desde los estándares de leyes de la física y proporciono aspectos que influenciaron las prácticas científicas, asumiéndose como instrumentos imprescindibles para que la ciencia tienda a transformar el mundo, y en particular para que tienda a mejorar el mundo, añadiendo nuevas posibilidades que antes eran tenidas por invariables (Echeverría, 1995).

Aplicación del modelo de S. Toulmin al concepto de Ley Periódica

Desde la propuesta de Toulmin, se establece que existen tres maneras alternativas de representar el proceso histórico del cambio conceptual, *transversal*, *longitudinal* y *evolutiva* o *combinada*. Para el concepto ley periódica, se decidió abordar la vía evolutiva (Figura 1) con el propósito de dar cuenta cómo se desarrollo este concepto en la Historia de la química del S. XIX y de presentar argumentos que permitan demostrar dicha evolución como un proceso dual de innovación o variación conceptual y selección intelectual.

Figura 1. Vía evolutiva del concepto ley periódica.



A propósito de la variación conceptual, es posible afirmar que durante el desarrollo de la ley periódica se iban verificando proposiciones en la medida que aparecían nuevos conceptos que permiten dar cuenta del problema particular, el propósito no fue “*verificar la verdad o la falsedad de una proposición empírica o medir las frecuencias requeridas como medidas de probabilidad*” (Toulmin, 1977, p. 213), sino que esta variación correspondió a la idea de “*cómo pueden ser reordenados nuestros conceptos para obtener un cuadro <<mejor>> -esto es, más exacto, más detallado y, en general, más inteligible- de los objetos, sistemas y sucesos involucrados*” (Toulmin, 1977, p. 213). Además, como se evidencio en la sección anterior, la ley periódica, fue una tarea comunal, requisito indispensable para poder reconocerla como variante conceptual genuina, “*se necesita algo más que las reflexiones personales de individuos de mente abierta para crear un conjunto efectivo*”

de variantes conceptuales en una ciencia [...]Es decir, debe considerarse que la innovación individual brinda una posible manera de abordar los problemas que son la fuente de insatisfacción colectiva” (Toulmin, 1977, p. 213-214).

La ley periódica ha permanecido en la historia de la química luego de la formulación en 1889, hasta nuestros días como se puede ver en las diferentes publicaciones que aún la utilizan como objeto de trabajo y de discusión¹⁶ o como posible manera de abordar la problemática de la enseñanza de las propiedades de los elementos químicos¹⁷.

En cuanto la selección intelectual que establece Toulmin para dar cuenta de las razones y causas que permitieron la evolución conceptual, es posible establecer que el cambio conceptual de la ley periódica, se produjo como la actividad colectiva en búsqueda de la solución del problema de organización de los elementos químicos. Los cambios relevantes que se expusieron para que pudiese emerger el concepto de ley periódica, fueron dados gracias a consideraciones intelectuales relevantes y esto, entre otros aspectos, permitió que la formulación de Mendeléiev fuera acogida por la comunidad de especialistas, en la medida que además de proporcionar aspectos explicativos, también sustentó su propuesta en aspectos predictivos, efectos colaterales que fueron *en pro de la innovación conceptual más poderosa que sus consecuencias previstas*(Toulmin, 1977, p. 233).

Consideraciones Finales y aportes para la enseñanza de la ley periódica.

El análisis anterior, proporciona argumentos que pueden contribuir a una mejor enseñanza de la química, en particular del concepto elegido. El uso de la historia de la ciencia para argumentar la evolución de la ley periódica, pone de manifiesto una manera de interpretar cómo se construye conocimiento científico, desde una perspectiva naturalizada de la ciencia, donde aspectos como la selección e innovación conceptual son fundamentales para el desarrollo de una disciplina científica.

El desarrollo de la vía evolutiva Toulminiana, para la ley periódica, permite visualizar la dinámica progresiva de la comunidad científica, lo mismo que la manera como se formuló este concepto correspondió a varias necesidades, en principio establecer un orden coherente entre las sustancias que existían según sus propiedades, posteriormente, la búsqueda de un principio explicativo que diera cuenta de dicha organización y además, la necesidad de proporcionar nuevos recursos que facilitarían la enseñanza de estas temáticas, de manera que se favoreciera su comprensión en los estudiantes principiantes. Dentro de este análisis se presenta además, la progresión de algunos conceptos, el abandono de otros y algunas variantes, como por ejemplo, la predicción y confirmación de los elementos y sus propiedades, lo que permitió fortalecer los principios explicativos y lograr consolidarlos, a pesar de las dificultades que se presentaban,

¹⁶ Christie, J. y Christie, M. (2003) ; Jürgen Schmidt, H. and Baumgärtner, H. (2003); Scerri, E. (2001, 1998). Vihalemm, R. (2003).

¹⁷ O. T. Benfey; del Earlham Collage de Indiana; el profesor latinoamericano, Bravo, L.A.; Demers, P.; el Departamento de Química de Allegheny Collègue ; Dufour, F. del Collègue Ahuntsic de Montreal; Jensen, W, de la Universidad de Cinninatti ; el equipo de la Universidad de Missouri, Kansas y Zmaczynski, E., entre otros.

Un aspecto interesante de resaltar, que la ley periódica no sólo se formuló en un momento determinado y luego perdió la característica de innovación genuina, sino que por el contrario es un concepto científico que se ha mantenido vigente, en la medida que la comunidad de químicos y educadores la reconoce, la trabaja y la enseña. Durante esta evolución conceptual, también se evidenció la incorporación de otros conceptos que tras su propio desarrollo se incorporaron para dar cuenta de la ordenación de los elementos de acuerdo a sus propiedades.

Se concluye que el estudio de esta temática desde la perspectiva histórica, proporciona aspectos que pueden enriquecer la enseñanza de la química y favorecer la comprensión de actividades propias de la actividad científica, los pactos que delimitan el hacer de los científicos, el valor de las personas relacionado con los contextos en los que se desenvuelve, los compromisos metateóricos que comparten o no los miembros de la comunidad científica, la necesidad de consenso en los presupuestos teóricos y en el lenguaje que los identifica, la coyuntura que subyacen para la producción de conocimiento específico (Quintanilla, Izquierdo y Adúriz, 2005). A partir de actividades como el estudio de episodios históricos, dramatizaciones de dilemas históricos, lectura de textos históricos o biografías de los científicos, realización de prácticas experimentales que hayan permitido la formulación de conceptos relevantes para la disciplina científica, se puede favorecer a cambiar la imagen de ciencia tradicional y dogmática y promover una imagen de ciencia como la actividad de seres humanos pertenecientes a determinados contextos sociales y culturales; la ciencia como un proceso continuo, no acumulativo, donde los aspectos culturales hacen que existan reelaboraciones de los saberes previos, acompañados por las nuevas visiones frente al mundo.

Referencias Bibliográficas

- Adúriz- Bravo, A. e Izquierdo, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. . *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, Vol 1, No 3, artículo 1. Disponible en <http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen1/Numero3/Art1.pdf>
- Bensaude-Vincent, B. (1991). Mendeleiev: Historia de un descubrimiento. En: Michel Serres (Ed), *Historia de las Ciencias*. (p. 502– 525). Madrid: Ediciones Cátedra.
- Brock, W. (1992). *Historia de la Química*. Madrid: Alianza Editorial.
- Christie, J. y Christie, M. (2003). Chemical laws and theories. *Foundations of Chemistry* 4(2), 81-103.
- Echeverría, J. (1995). *Filosofía de la Ciencia*. Madrid: Akal Ediciones.
- Izquierdo, M., Vallverdú, J., Quintanilla, M. y Merino, C. (2006). Relación entre la historia y la filosofía de las ciencias II. *Alambique* 48. 78-91
- Jürgen Schmidt, H. and Baumgärtner, H. (2003). Changing ideas about the periodic table of elements and student's alternative concepts of isotopes and allotropes. *Journal of Research in Science Teaching* 40(3), 257-277.
- Lavoisier, A. L. (1783). Report of a memoir read by M. Lavoisier at the public session of the Royal Academy of Sciences of November 12, on the nature of water and on experiments which appear to prove that this substance is not strictly speaking an element but that it is susceptible of decomposition and

- recomposition. *Observations sur la Physique* 23, 452-5; translation by Carmen Giunta. Disponible en <http://web.lemoyne.edu/~giunta/laveau.html>
- Linares, R. (2004). *Elemento, átomo y sustancia simple. Una reflexión a partir de la enseñanza de la Tabla Periódica en los cursos generales de Química*. Tesis de Doctorado para la obtención del título de Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra: España.
- Mathews, M. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: La aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias* 12 (2). 255-277.
- Mendeléiev, D. (1869). On the Relationship of the Properties of the Elements to their Atomic Weights. *Zeitschrift für Chemie* 12, 405-6 (1869)_[from David M. Knight, ed., *Classical Scientific Papers--Chemistry, Second Series*, 1970; translation from German by Carmen Giunta. Note: I have included hyperlinks from three of the blank places in this table to accounts of the discoveries of the corresponding elements at the ChemTeam site. I have left element symbols as they were in the German abstract. --CJG]. Disponible en <http://web.lemoyne.edu/~giunta/mendeleev.html>
- Mendeléiev, D. (1889). The Periodic Law of the Chemical Elements. *Journal of the Chemical Society*, 55, 634-56. (FARADAY LECTURE delivered before the Fellows of the Chemical Society in the Theatre of the Royal Institution, on Tuesday, June 4th, 1889.) En: <http://web.lemoyne.edu/~giunta/mendel.html>
- Newlands, J. (1865). *On the Law of Octaves*. *Chemical News Vol. 12, August 18, 1864*, 83. Disponible en <http://web.lemoyne.edu/~giunta/newlands.html>
- Quintanilla, M., Izquierdo, M y 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 *Science & Education IHPST* 8, 15 –18 July, University of Leeds.
- Román, P. (2002). *El profeta del orden químico. Mendeléiev. Científicos para la Historia*. Madrid: Nivola Libros Ediciones.
- Scerri, E. (2002). Foundations of Chemistry. *Journal of Chemical Education*. 79 (12), 1420-1421.
- Scerri, E. (1998). The evolution of the periodic system. *Scientific American*. septiembre, 78 – 83.
- Toulmin, S. (1977). *La comprensión humana. Vol.1 El uso colectivo y la evolución de conceptos*. Madrid: Alianza Editorial
- Vihalemm, R. (2003). Are Laws of nature and scientific theories peculiar in chemistry? Scrutinizing Mendeleev's Discovery. *Foundation of Chemistry* 5(1), 7-22.

Capítulo 6

Aplicación del modelo de Toulmin al Objeto Matemático Raíz Cuadrada

Roberto Vidal Cortés

Pontificia Universidad Católica de Chile

Chile

Resumen

Existe una confusión sobre dos distintos conceptos de Raíz Cuadrada, la que se aprecia en una importante cantidad de profesores como también en fuentes escritas. Mientras algunos definen la raíz cuadrada como una operación con dos resultados, inversa a la elevación al cuadrado, omitiendo o ignorando su campo de validez, otros la definen relacionándola con la solución de la ecuación $x^2 = 9$, ambas que conducen a la errada noción y conclusión de que $\sqrt{9} = \pm 3$. Este fenómeno es importante y trasciende a los números imaginarios, pues ocasiona errores conceptuales como por ejemplo que $\sqrt{-4} = \pm 2i$, donde se mezcla la acepción de raíz como solución de una ecuación, con el concepto de raíz cuadrada como función real de variable real. Por medio del Modelo de Toulmin, se revela una posible causa histórica que puede ocasionar tal confusión entre los profesores de matemáticas, visto que su formación inicial al menos, carece de elementos de epistemología de los objetos matemáticos que enseñan. He aquí el aporte de este artículo, que ilustra la importancia de incorporar el conocimiento evolutivo de los conceptos que debe manejar un profesor que enseña esta ciencia.

Palabras claves Raíz cuadrada, Crisis en las Matemáticas, signo radical, función real de variable real,

Abstract

A confusion exists on two different concepts of Square Root, which it appreciates in a teachers' important quantity as also in written sources. While some of them define the root squared as an operation with two results, inverse to the elevation to the square, omitting or ignoring his field of validity, others define it relating her to the solution of the equation $x^2 = 9$. Both that they lead to the mistaken notion and conclusion of that $\sqrt{9} = \pm 3$. This phenomenon is important and comes out of the imaginary numbers, since it causes conceptual mistakes as for example that $\sqrt{-4} = \pm 2i$, Where the meaning root is mixed as solution of an equation, with the concept of root squared as real function of real variable. By means of the Model of Toulmin, there is revealed a possible historical reason that can cause such a confusion between the teachers of mathematics, I dress that your initial formation at least, he lacks elements of epistemología the mathematical objects that they teach. Is here the contribution of this article, which illustrates the importance of incorporating the evolutionary knowledge of the concepts that there must handle a teacher who teaches this science.

Key words Square roots, Crisis in the Mathematics, radical sign, Real function of real variable.

Introducción

En su obra de 1977, “La Comprensión Humana”, Steven Toulmin proporciona un Modelo para estudiar el *cambio conceptual* y el *cambio científico*, discusión que permite colocarse por sobre un objeto de conocimiento e introducirse en su evolución, rescatando la historia y los vaivenes que le han devenido en el tiempo. Toulmin presenta su Modelo en forma analógica a la Teoría de la Evolución de Darwin, indicando que la evolución conceptual en una ciencia se produce “sólo si las innovaciones transitorias no mueren automáticamente con sus creadores”.

Uno de los tipos de fenómenos que permite estudiar el Modelo de Toulmin, “*comprende los problemas que se presentan cuando consideramos la mutua relación de diferentes conceptos co - existentes en una misma rama de la Ciencia*”. El fenómeno que se ajusta muy bien a este tipo de situación, entre otros, es el que presentaré sobre el concepto de Raíz Cuadrada, al cual aplicaremos el Modelo de Toulmin (1977) para analizar su evolución.

Una investigación que antecede a esta aplicación, es mi trabajo de Tesis de Maestría en Didáctica de la Matemática titulado “*Concepciones de los Profesores de Enseñanza Media acerca del objeto de enseñanza Raíz Cuadrada, una mirada desde la Transposición Didáctica*”, en el que se revela la co - existencia de dos diferentes concepciones de Raíz Cuadrada en Álgebra y frente a la cual, los profesores muestran confusión al respecto. De este modo, se complementa tal investigación, estudiando la evolución del concepto Raíz Cuadrada, encontrando elementos que permitan por un lado explicar la confusión del profesorado y por otro resolver este problema por medio de las tres propuestas que ofrece Toulmin: “*Refinando la terminología, introduciendo nuevas técnicas de representación y modificando los criterios para identificar casos a los que sean aplicables las técnicas corrientes*”¹.

Expondré en este capítulo, de manera breve pero concisa, el abordaje de las tres propuestas mencionadas, solución que se basa en los acontecimientos históricos que han marcado y causado la necesidad de recuperar las “buenas definiciones y los correctos tratamientos” que el trabajo de Tesis mencionado pone en evidencia al denunciar la existencia de una ruptura entre el saber científico y el saber a enseñar relativo a la Raíz Cuadrada, situación que puede ser controlada incorporando la epistemología de los objetos matemáticos en la formación inicial y continua de Profesores de Matemática.

Sistematización del abordaje histórico

Hasta el siglo VI a.C., con la aparición de Thales de Mileto, los conocimientos matemáticos no tenían un desarrollo científico. Uno de los más fieles historiadores de la matemática, como Proclo (Siglo IV d.C.), muestra en sus recopilaciones que no hay documentos que permitan sostener que el conocimiento de los pueblos egipcios y babilonios, tomara un carácter sistemático y científico, sino más bien de sentido utilitario y práctico. Con Thales, el primero de los 7 sabios griegos, se conoce la argumentación de algunos de los teoremas que conocemos. Nuestro objeto, la Raíz Cuadrada, aparece en un primer tiempo en la secta de los Pitagóricos hacia el siglo V a.C., época en que su descubrimiento crea la primera gran crisis de la matemática. Un segundo tiempo que destacaré se sitúa en el siglo III a.C., donde veremos cómo se

resolvió la crisis, antecedente que están publicados en Los Elementos de Euclides con la teoría de los inconmensurables. Un tercer tiempo, esta dado por el desarrollo del Álgebra por los árabes hacia el 850 d.C. Su máximo representante, conocido como el Padre del Álgebra, Mohammed Ibn Musa Al-Khwarizmi, en su obra al-jabr w'al-muqabalah, expone 6 tipos de ecuaciones en cuyos métodos de resolución involucra las palabras raíz y cosa, de donde hay un primer indicio de dos conceptos de raíz que más tarde se especificarían. Un cuarto tiempo se sitúa en el siglo XVI, época en que surgen matemáticos italianos y alemanes comienzan a estudiar ecuaciones de grado mayor que 2 y en que aparece el signo radical $\sqrt{\quad}$.

Un quinto tiempo, viene dado por el desarrollo de la teoría de funciones en el siglo XVII en adelante y hasta nuestros días en que junto a la teoría de conjuntos del siglo XIX, se desarrolla el concepto de número real y de función real de variable real. Estas nuevas teorías junto al inmenso desarrollo de la teoría de ecuaciones, de los números complejos y del análisis, establecen claramente la bifurcación de los conceptos de raíz cuadrada que en el saber enseñado ofrecen confusión, por una anomalía en la transposición que se revela con el estudio evolutivo que ilustraré con el Modelo de Toulmin.

- **El primer tiempo**

Es probable que La Raíz Cuadrada fuera pensada por las antiguas civilizaciones unido al conocimiento de los cuadrados perfectos 1, 4, 9, 16, 25, etc. Vista la necesidad de encontrar la base de una potencia de exponente 2, en que se conoce su valor. Como los griegos no concebían números negativos, (y así hasta su aceptación en el siglo XVIII (Cousquer, 1998)), no tenían posibilidad de confusión. Es en la escuela Pitagórica, en el siglo V a. C. cuando aparece el objeto Raíz Cuadrada con el Teorema de Pitágoras, y específicamente con los tríos pitagóricos; tres números a, b, c que corresponden a las medidas de los catetos y la hipotenusa respectivamente de un triángulo rectángulo, los que satisfacen la relación $c^2 = a^2 + b^2$.

Los pitagóricos se entretuvieron encontrando tríos de números naturales que cumplieran la condición: “la suma de los cuadrados de dos de ellos, es igual al cuadrado de un tercero”. La raíz cuadrada se utiliza aquí para calcular uno de los números cuando se conocen los otros dos. Por ejemplo; 3, 4 y 5 es un trío que cumple la condición, tal como lo sabían empíricamente los egipcios al ocupar una cuerda con 12 nudos separados a igual distancia, para formar una escuadra. Al sumar los cuadrados de 3 y 4, es decir $9 + 16$ se obtiene 25, que debe ser el cuadrado de otro entero, en este caso 5. Observaron que también se puede extender esta situación a otros números fraccionarios como por ejemplo, buscar qué fracción al cuadrado da $\frac{16}{25}$, localizando a $\frac{4}{5}$.

Así, la raíz cuadrada es empleada como herramienta, es decir, como medio para encontrar la base de una potencia de exponente dos. Pero luego, se dieron cuenta que no todas las medidas de segmentos eran conmensurables, originando un hallazgo que les llevaría a una de las primeras crisis en la historia de la Matemática, la denominada

crisis de los números irracionales. Se trata del descubrimiento o invención de los números irracionales, del cual el primer encuentro fue con $\sqrt{2}$. Al respecto, Aristóteles en un texto de sus Primeros Analíticos (14 a 26) escribe acerca de la forma en que los griegos descubrieron estos números:

“se prueba, escribe Aristóteles, la inconmensurabilidad de la diagonal por la razón de que los números impares se volverían iguales a los números pares, si se considera la diagonal como conmensurable, es decir, que tienen entre sí una medida común”

Aquí se da a entender que previo a Euclides, los matemáticos griegos no experimentaban inquietudes acerca de los irracionales, de hecho, Platón en sus diálogos, según Teeteto, señala que se habrían construido segmentos de medidas inconmensurables que correspondían a raíces cuadradas y según escoliastas de Euclides, Eudoxo había elaborado una teoría general de las proporciones que consideran a las magnitudes inconmensurables, en vida de Platón.

En el primer escolio del libro X de los Elementos de Euclides, se atribuye el descubrimiento de los irracionales a los pitagóricos, escuela cuyo pensamiento se centraba en la idea que "los números armonizaban el universo". Comienzan los pitagóricos así a buscar la medida de la diagonal de un cuadrado de lado 1 unidad. Aparece entonces, un nuevo número que no tiene ninguna de las características de los conocidos. Tal número, corresponde a la raíz cuadrada de 2. Se trataba de buscar exhaustivamente un número cuyo cuadrado sea 2. Así como éste, fueron apareciendo otros del mismo "tipo" que denominaron "inconmensurables". Se cuenta que el pitagórico que primero había divulgado la irracionalidad de $\sqrt{2}$, Hipassos de Metaponte, habría sido muerto en un naufragio. El motivo de este episodio según J. Piaget et al (1979) en su Tratado de lógica y conocimiento científico se debe a que "todo lo que es irracional y carente de forma debe permanecer oculto y si un alma quiere penetrar en esa región secreta y dejarla abierta, se verá arrastrada al mar del devenir y se ahogará en el incesante movimiento de sus corrientes".

- **El segundo tiempo**

En la misma obra, el investigador J. T. Desanti señala que en los Elementos de Euclides, se ilustra el razonamiento atribuido a los pitagóricos, para probar la irracionalidad de $\sqrt{2}$:

Sea AC la diagonal de un cuadrado. Supongámosla conmensurable con el lado AB . Sea $\frac{a}{b}$ la relación $\frac{AC}{AB}$ y supongamos que la fracción $\frac{a}{b}$ está reducida a su más simple expresión, es decir, los enteros a y b son primos relativos entre sí. Por el teorema de Pitágoras $a^2 = 2b^2$, por lo que a^2 es un número par y entonces a es par. Si a y b son primos relativos entre sí, b debe ser necesariamente impar. Por otra parte, la paridad de a nos lleva a escribir $a = 2c$, es decir, $a^2 = 4c^2 = 2b^2$, de donde $b^2 = 2c^2$, lo cual implica la paridad de b . De este modo, la hipótesis $\frac{a}{b}$ es irreductible da como resultado una contradicción: b debe ser simultáneamente par e impar. Falla desde luego, el principio del tercero excluido.

¿Cómo abordar este problema que desorganiza la filosofía pitagórica?

En el plano matemático, la resolución de la crisis exigió reconstruir la teoría de las relaciones y proporciones de los pitagóricos. Se debió llegar a una teoría general que incluyera las magnitudes tanto conmensurables como las inconmensurables, la que aparece en el Libro V de los Elementos de Euclides. También en el Libro X, según Boyer, trata la clasificación sistemática de los segmentos inconmensurables de las formas $a \pm \sqrt{b}$, $\sqrt{a} \pm \sqrt{b}$ y $\sqrt{\sqrt{a} \pm \sqrt{b}}$. Aquí, hay que precisar que a y b son números no negativos, en el contexto de la era griega.

Euclides, construyó su teoría de proporciones, para medidas de segmentos tanto conmensurables como inconmensurables, dando un lugar a los nuevos números irracionales. Para los griegos la quinta operación de la aritmética fue la “extracción de raíz cuadrada”, de modo que ya pasa a convertirse en un objeto de estudio, pues, ahora se debía encontrar algún algoritmo que permitiese calcular la raíz cuadrada de cualquier número racional y no sólo de aquellos que por simple inspección de una tabla de cuadrados pudieran obtenerse. A lo largo de la historia, han surgido varios métodos de extracción de raíz cuadrada, los que omitiremos, por estar fuera del objetivo de este artículo.

- **El tercer tiempo**

Avanzando en el tiempo, según Boyer (1985), los árabes, alrededor del 850 d. C. ocupaban la raíz cuadrada como un medio para resolver ecuaciones cuadráticas y dejaron su legado en la obra escrita por Al- Khowarizmi denominada Al - jabr. Además, sólo consideraban las soluciones positivas si existían.

Lo importante de la época de la Hegemonía Árabe, fue la introducción de la acepción de la palabra raíz, como solución de una ecuación: Al- Khowarizmi, clasifica las ecuaciones de primer y segundo grado en 6 tipos en que intervienen las tres cantidades que la conforman: cuadrados (x^2), raíces (x) (también llamadas “cosas”) y números. Estas 6 formas que resolvía por métodos geométricos son:

1. Cuadrados iguales a raíces, en notación actual, $ax^2 = bx$
2. Cuadrados iguales a números: $ax^2 = c$
3. Raíces iguales a números: $bx = c$
4. Cuadrados y raíces iguales a números: $ax^2 + bx = c$
5. Cuadrados y números iguales a raíces: $ax^2 + c = bx$
6. Raíces y números iguales a cuadrados: $bx + c = ax^2$

A partir de este tratamiento, la palabra raíz, toma el significado de solución de la ecuación, que siglos después se formaliza en la teoría de polinomios, dentro del estudio de las estructuras algebraicas en el siglo XIX.

- **El cuarto tiempo**

- El símbolo que hoy utilizamos con el nombre de operador radical $\sqrt{\quad}$, es introducido en 1525 (Guedj, 1998), por el matemático alemán Christof Rudolff, concibiendo una r minúscula (inicial de la palabra latina *radix* que significa raíz) alargada”. En el siglo XVI aparecen las álgebras italianas y germanas. Rudolff introduce el signo de operador radical en su obra *Coss* (cosa), nombre que recibía también la incógnita de una ecuación.

Antes y durante la masificación de este nuevo símbolo, se utilizaba otras notaciones. Según Rey Pastor (1951), el Matemático francés Nicolás Chuquet (segunda mitad del siglo XV), simbolizaba la raíz cuadrada con una R con exponente 2. En una de las últimas obras de los algebristas italianos del siglo XVI, “El Álgebra” de Rafael Bombelli, se indica la raíz cuadrada con R seguida de q encerrando luego el radicando en un doble ángulo recto que en el texto impreso se convirtió en dos L invertidas.

Aún en este tiempo, los matemáticos no aceptan los números negativos, sin embargo algunos se atreven a utilizarlos como coeficientes de ecuaciones pero no como solución, pues son números ficticios, falsos o absurdos. No se produce todavía la distinción entre los conceptos relacionados con raíz cuadrada.

- **El quinto tiempo**

La raíz cuadrada en su concepción científica corresponde, tanto a un número real no negativo, como función real de variable real (operador monario). La raíz cuadrada de un número real no negativo, como número real no negativo, justifica su existencia y unicidad en el *teorema de la Existencia de la Raíz cuadrada*.

Para cada número real positivo a , existe un único número real positivo b tal que $b^2 = a$. Éste número b , lo designaremos por la notación $b = \sqrt{a}$, o bien $b = a^{\frac{1}{2}}$, y lo llamaremos *la raíz cuadrada de a*. Se extiende esta definición al número real cero, de modo que, $\sqrt{0} = 0$.

La Función Raíz cuadrada.

En el siglo XVI el estudio del movimiento apareció como el problema central de la física y como consecuencia, se desarrollaron las matemáticas que estudian la interdependencia de las magnitudes variables, esto es, del concepto de variable y de función. Abstrayendo a formas más generales el estudio de las interdependencias, las expresiones tienen una forma global que las identifican. Tal forma corresponde a la expresión $y = f(x)$.

Según C. Azcárate et al (1996), muchos autores concuerdan que el nacimiento del concepto de función se ubica a mediados del siglo XVII, época de Descartes,

Fermat, Newton y Leibnitz. Aparece por primera vez el término “función” cuando empieza a desarrollarse el análisis matemático con los conceptos de diferenciación e integración. Cabe destacar que la idea inicial de función era muy restringida, ya que se reducía sólo a las funciones analíticas, las que se pueden expresar mediante una ecuación polinómica y poco después a las desarrollables en series de potencias. En el siglo XVIII, Euler dio la primera definición de función. A partir de ese momento las definiciones se irán perfeccionando en el tiempo, con el propósito de incluir las funciones cada vez más complejas que aparecen, hasta llegar a las definiciones más recientes que incorporan el lenguaje conjuntista.

Con estos nuevos objetos matemáticos llamados funciones, se formaliza el estudio, de varios conocimientos, en especial el de las operaciones. La raíz cuadrada, como función real de variable real, se construye como la inversa de la función cuadrática canónica, como veremos a continuación.

Sea f la función que a cada número real le asocia su cuadrado (que es único), el que es por cierto un número no – negativo. Entonces f tiene por dominio el conjunto de los números reales \mathfrak{R} , y su recorrido es el conjunto de los números reales no – negativos. Es decir, $f : \mathfrak{R} \rightarrow \mathfrak{R}_0^+$.

Se puede observar que dos números reales opuestos (inversos aditivos) entre sí tienen la misma imagen. En especial, el hecho que dos números opuestos distintos tengan imágenes iguales permite demostrar algebraicamente que la función no es inyectiva o uno a uno. Fracasa entonces el intento por encontrar una función inversa de la “elevación al cuadrado”. Sin embargo, se puede redefinir la función f , restringiendo su dominio al conjunto de los números reales no – negativos \mathfrak{R}_0^+ .

Bajo esta redefinición, tenemos la función $f_r : \mathfrak{R}_0^+ \rightarrow \mathfrak{R}_0^+$ definida por $f_r(x) = x^2$ que es biyectiva, lo que asegura la existencia de la función inversa. f_r^{-1} , para $x \geq 0$ e $y \geq 0$, definida por $f_r^{-1}(x^2) = x$, que se anota $f_r^{-1}(x) = \sqrt{x}$. La función construida de esta manera se denomina *Función raíz cuadrada* y corresponde a la inversa de la función cuadrática canónica con dominio en los números reales no negativos.

Acepción de la palabra raíz como solución de una ecuación.

A pesar que la palabra raíz se viene utilizando desde siglos como sinónimo de solución de una ecuación o “cosa” como indicaban los matemáticos árabes y los alemanes en distintos siglos, este nombre toma su total legitimación científica con el desarrollo de la teoría de ecuaciones y en la teoría de polinomios con coeficientes en un cuerpo K . Las siguientes definiciones están extraídas del texto: Álgebra Moderna de I. N. Herstein (1964).

“Definición: Si $p(x) \in F[x]^*$, entonces un elemento a que se encuentra en algún campo de extensión de F se llama raíz de $p(x)$ si $p(a) = 0$.

**Aquí $F[x]$ denota al conjunto de todos los polinomios con coeficientes en un cuerpo F .” (Pág. 210)*

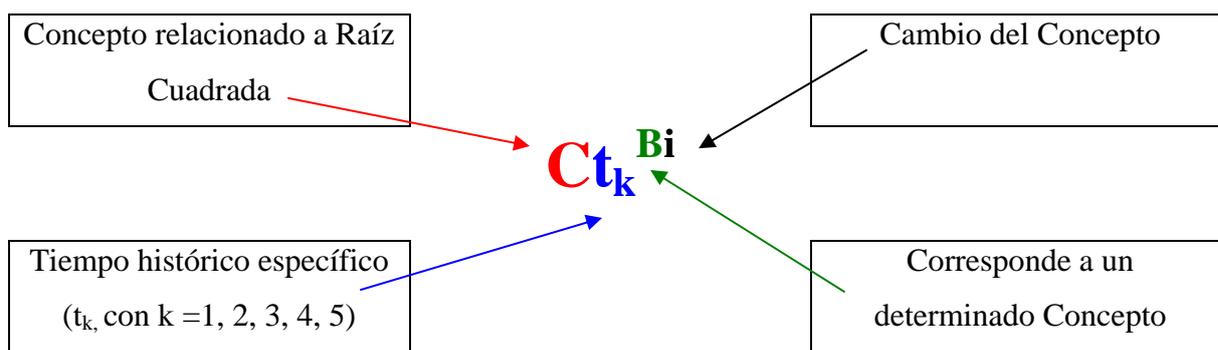
“Definición: El número complejo w es una raíz n -ésima de la unidad, si $w^n = 1$ ” (Pág.242)

Es en éste punto donde surgen las primeras confusiones en el profesorado. Por años ha existido una confusión del concepto de raíz cuadrada, en que pareciera que se ha hecho una extensión conceptual (de aquella que manejaban las antiguas civilizaciones) en la que cualquier número positivo tiene dos raíces cuadradas, una positiva que suelen llamar raíz principal y otra negativa, llamada raíz secundaria. Aquí vemos que el término moderno de "raíz cuadrada" se emplea en un nuevo contexto numérico (por cierto el de los números complejos), ámbito en que "toda ecuación de grado n tiene exactamente n raíces" (teorema fundamental del álgebra). Las soluciones de una ecuación son llamadas raíces de la ecuación, asociación que permite el malentendido, para el caso de las ecuaciones cuadráticas del tipo $x^2 = a$, que en el conjunto de los números complejos se interpreta como *las raíces cuadradas del número complejo a* .

La Evolución del Objeto Matemático Raíz Cuadrada a través del modelo de Toulmin

El estudio historiográfico que se ha mostrado, permitirá aplicar el Modelo de Toulmin en los cinco tiempos claves del desarrollo del concepto de Raíz cuadrada que se han definido, siendo en el quinto en el cual se produce el cambio conceptual paralelo que ocasiona dos concepciones en la misma rama del álgebra. Para realizar el análisis evolutivo de los conceptos de Raíz Cuadrada a través de la historia utilicé la representación genealógica o longitudinal, la cual corresponde al seguimiento de la Raíz Cuadrada en el tiempo. El concepto de Raíz cuadrada está vinculada a otros como el Teorema de Pitágoras, los Números irracionales, los segmentos inconmensurables, las ecuaciones cuadráticas, Signo Radical y la Función real de Variable real. Explicaré a continuación la nomenclatura utilizada:

Nomenclatura utilizada para la representación longitudinal



Conceptos desarrollados en la representación longitudinal

A = Teorema de Pitágoras

B = Números irracionales

C = Segmentos inconmensurables

D = Ecuaciones cuadráticas

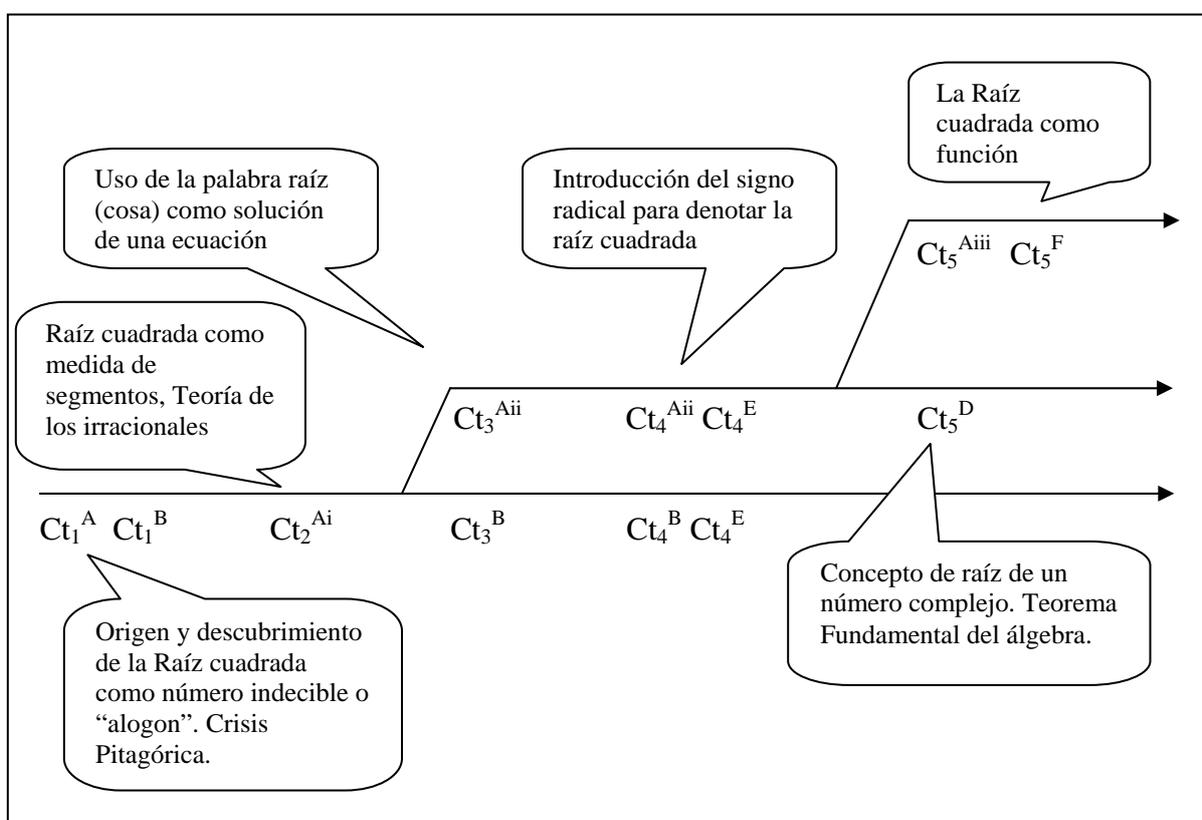
E = Signo Radical

F = Función real de Variable real

Tabla resumen de la evolución del concepto de Raíz Cuadrada:

Época	Aporte	Lugar	Nomenclatura
500 a.C.	Pitagóricos	Grecia	Ct_1^A, Ct_1^B
300 a. C.	Euclides	Grecia	$Ct_2^A, Ct_2^B, Ct_2^{Ai}$
(800 – 850) d.C.	Árabes (Al - Khwartzimi)	Arabia	Ct_3^{Aii}, Ct_3^B
1500 – 1650	C. Rudolff, N. Chuquet, R. Bombelli,	Italia, Alemania	$Ct_4^E, Ct_4^{Aii}, Ct_4^B$
1.700 d.C en adelante	C. Gauss, G. Cantor, Euler.	Inglaterra, Alemania	$Ct_5^{Aiii}, Ct_5^D, Ct_5^F$

Representación longitudinal de las nociones de Raíz Cuadrada



Aportes del estudio realizado a la enseñanza de las Matemáticas

Estudios como estos dan cuenta de la importancia de conocer la evolución de los objetos de saber que se enseñan, no sólo para conocerlo en profundidad, sino para comprender el entorno ecológico en que se desarrollan en el tiempo desde un análisis transversal y longitudinal no lineal, con saltos, con traslapes conceptuales, situaciones no resueltas o conflictivas que sirven para problematizar la enseñanza del objeto en cuestión, y modificar con argumentos las creencias o concepciones admitidas, pues en matemáticas, la formación de profesores tanto inicial como continua no incorpora estos elementos, lo que conduce a docentes que poco saben de la historia de los objetos

matemáticos, enseñando entonces matemáticas descontextualizadas y mostrando una faceta terminada de ella, como producto final bien depurado cooperando con las diversas estigmatizaciones que se han instalado en las culturas sobre esta ciencia.

Toulmin por medio de su Modelo, nos hace reflexionar al respecto, y como he ilustrado en este artículo, por medio de la Raíz Cuadrada, permitió complementar y resolver (he aquí lo más importante), la gran confusión que existe (probado en mi Tesis de Maestría), entre dos conceptos relacionados pero distintos e instalados en la misma rama acerca de este objeto matemático.

La claridad de lo expuesto, permitirá evitar la formación de otros errores conceptuales como $\sqrt{a^2} = \pm a$, y entonces identificar correctamente el uso del signo radical, como función real de variable real (no negativas) y como raíz de un número complejo o solución de la ecuación cuadrática (en particular) con coeficientes complejos.

Conclusiones

El modelo de Toulmin, permite organizar la evolución y el cambio conceptual que se produce sin riesgo de confusión hasta que aparecen y son legitimados los números negativos. Así, a partir de ese momento, es necesario distinguir dos acepciones de Raíz cuadrada, desde el ámbito de los números reales y las funciones reales de variables real y el nombre que se le da a cada una de las dos soluciones de una ecuación del tipo $x^2 = a$, en el cuerpo de los números complejos. La forma en que se resuelve este problema, se ajusta a las tres vías planteadas por Toulmin:

1. Refinando la terminología.

Para ello, se define: Para cada número real positivo a , existe un único número real positivo b tal que $b^2 = a$. Éste número b , lo designaremos por la notación $b = \sqrt{a}$, o bien $b = a^{\frac{1}{2}}$, y lo llamaremos *la raíz cuadrada de a* . Se extiende esta definición al número real cero, de modo que, $\sqrt{0} = 0$.

2. Introduciendo nuevas técnicas de representación.

En efecto,

i) se utiliza el signo $\sqrt{\quad}$ sólo para denotar la función raíz cuadrada, la que es una función con valores en los números reales no negativos, deviniendo en que para un número real $a \geq 0$, la expresión \sqrt{a} indica aquel único número no negativo cuyo cuadrado es a .

ii) Para expresar las raíces cuadradas de un número complejo z , utilizamos los símbolos: ϖ_1, ϖ_2 . Caso particular de las raíces n -ésimas de un número complejo z , que corresponden a los n números complejos: $\varpi_1, \varpi_2, \varpi_3, \dots, \varpi_n$.

3. Modificando los criterios para identificar casos a los que sean aplicables las técnicas corrientes.

Para el caso de la función raíz cuadrada, sus propiedades se limitan a aquellos números admisibles por el dominio y el recorrido de dicha función.

Referencias Bibliográficas

- Azcárate C., Deulofeu J. (1996). *Funciones y Gráficas*. Madrid, España. Editorial Síntesis.
- Boyer, Carl. (1986). *A history of mathematics*: John Wiley & Sons. [Historia de la Matemática]. Madrid, España. Alianza Editorial Textos.
- Bunch, B. (1987). *Matemática insólita, paradojas y paralogismos*. Madrid, España: Editorial Reverté.
- Cajori, F. (1928). *An history of mathematical notations*. Chicago, E. U. A.:The open court pub Company.
- Collette, J. (1973). *Histoire des Mathématiques I*. Montreaux . Suiza. Éditions du renouveau pédagogique.
- Collette, J. (1973). *Histoire des Mathématiques II*. Montreaux . Suiza. Éditions du renouveau pédagogique.
- Cousquer E. (1998). *La Fabuleuse histoire des nombres*. Paris, Francia. Diderot Editeur.
- Guedj, D. (1998). *El teorema del loro*. Barcelona, España. Anagrama.
- Herstein, I. N. (1970). *Álgebra Moderna*. México. Editorial Trillas.
- Larroyo, F. (1976). *Filosofía de las Matemáticas*. D. F. , México. Editorial Porrúa, S.A.
- Mena, A. (2001). *Elementos de matemáticas, 1*. Valparaíso, Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Pelletier, J.L. (1958). *Etapas de la Matemática*. Buenos Aires, Argentina: Losada.
- Piaget J. y Otros. (1979). *Tratado de Lógica y Conocimiento Científico Vol. III “Epistemología de la Matemática”*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Paidós.
- Rey Pastor, Babini, J. (1951). *Historia de la Matemática*. Buenos Aires, Argentina: Espasa –Calpe.
- Robledo, A. (1977). *Lecciones de aritmética elemental moderna*. Concepción, Chile: Editorial Universitaria.
- Rudin, W. (1965). *Principles of mathematical análisis*. México: Novaro.
- Toulmin, S. (1977). *La Comprensión humana*, Alianza, Madrid.
- Van der Waerden, B. L. (1983). *Geometry and álgebra ancient civilizations*. Berlín, Alemania: Springer-Verlag.
- Velázquez J., Sepúlveda G. , Solabarrieta P. (2001). *Matemática III Ed. Media*. Santiago, Chile: Editorial Santillana.

Los editores

Mercé Izquierdo i Aymerich Catedrática de Escuela Universitaria del Departamento de Didáctica de las Mm i de las CCEE de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad Autónoma de Barcelona. Experta europea en temas de didáctica de las ciencias experimentales. Su principal línea de investigación está vinculada a la historia de la ciencia, la epistemología y la formación docente; además de la retórica en los libros de texto. Ha dirigido numerosas tesis de maestría y doctorado en didáctica de las ciencias experimentales., Dra. en ciencias químicas, ha sido profesora visitante en prestigiosos centros de enseñanza de las ciencias de Inglaterra, Holanda, Bélgica, Italia, Francia y Alemania. Del mismo modo ha colaborado en procesos de formación e investigación en didáctica de las ciencias experimentales en México, Colombia, Argentina, Brasil, Nicaragua y Chile. Participación en congresos catalanes, españoles, iberoamericanos y europeos con más de 30 ponencias en los últimos 6 años.

Mario Quintanilla Gatica Profesor Adjunto del Departamento de Didáctica de la Facultad de Educación de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Desarrollo y dirección de proyectos de formación, innovación e investigación en enseñanza de las ciencias experimentales. Dirección de proyectos educativos y de divulgación científica en España, Inglaterra, Holanda, Argentina, Uruguay, Panamá, Colombia, Perú, Paraguay y Cuba como asesor y consultor de la UNESCO. Planificación y Evaluación de competencias docentes. Asesor del Ministerio de Educación de Colombia para temas de Competencias Científicas y formación del Profesorado. Autor de 6 libros de enseñanza de las ciencias y formación del profesorado Evaluación de publicaciones en educación científica y gestor de material tecnológico para el MINEDUC (1999-2001). Participación en congresos Nacionales, Latinoamericanos y Europeos con más de 30 ponencias en los últimos 6 años.

Los autores

Luz Mary Chavarro Experta en temas de Educación y Currículo a distancia. Experiencia en la formación de docentes, en la capacitación para el trabajo, el diseño de programas académicos por competencias para los niveles técnicos, tecnológicos y profesionales, la elaboración de competencias científicas, básicas y profesionales.

Fernando Soto Profesor de Biología y Ciencias Naturales. Licenciado en Educación Académico de la Facultad de Educación de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile. Candidato a Dr. en Ciencias de la Educación. PUC.

Paloma Miranda Licenciada en Geografía. PUC. Profesora de Geografía y Licenciada en Educación en la misma área. Candidato a Dr. en Ciencias de la Educación. PUC.

Luigi Cuellar Master en Docencia de la Química de la Universidad Pedagógica Nacional de Bogotá, Colombia. Candidato a Dr. en Ciencias de la Educación. PUC. Becario CONICYT. Participación en congresos latinoamericanos y europeos con más de 20 ponencias en los últimos 4 años.

Hernando Velásquez Master en Educación a Distancia. Candidato a Dr. en Ciencias de la Educación. PUC. Amplio conocimiento y experiencia en la educación superior abierta y a distancia, su desarrollo cultural en el ámbito nacional y latinoamericano, problemática, procesos de planeación, dirección e implementación de programas a distancia para la educación superior.

Johanna Camacho Master en Docencia de la Química. Universidad Pedagógica Nacional de Bogotá, Colombia. Candidata a Dr. en Ciencias de la Educación. PUC. Becario CONICYT. Participación en congresos latinoamericanos y europeos con más de 20 ponencias en los últimos 4 años.

Roberto Vidal Profesor de Matemática. Docente de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, Santiago de Chile. Master en Didáctica de las matemáticas UCV. Candidato a Dr. en Ciencias de la Educación. PUC. Ha editado libros para la enseñanza de las matemáticas en la Educación Media Chilena.