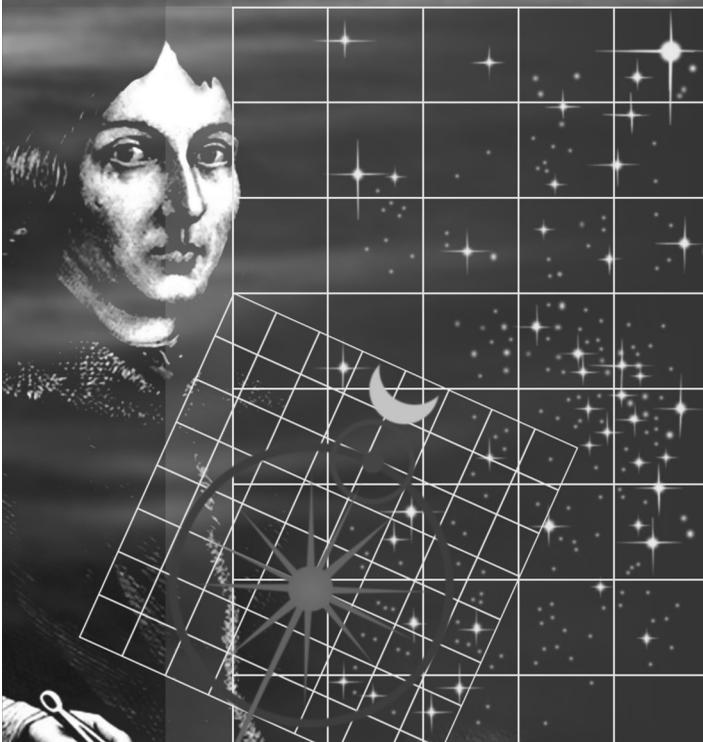


Las Competencias de Pensamiento Científico desde las *'emociones, sonidos y voces'* del aula

Volumen 8

Mario Quintanilla
(Compilador y autor)



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE

Fondecyt

FONDO NACIONAL DE DESARROLLO
CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO



GRECIA
Laboratorio de Investigación
en Didáctica de las
Ciencias Experimentales



BellaTerra
Sociedad Chilena de Didáctica,
Historia y Filosofía de la Ciencia



ACADEMIA DE CIENCIAS
DE FINLANDIA

Las Competencias de Pensamiento Científico desde las *'emociones, sonidos y voces'* del aula

Volumen 8

Mario Quintanilla
(Compilador y autor)

Autores

Agustín Adúriz-Bravo, María Álvarez, Carolina Arredondo,
Luigi Cuéllar, Beatriz Díaz, Álvaro García,
Mercé Izquierdo-Aymerich, Roxana Jara, Carol Joglar,
Alberto Labarrere, Olga Malvaez, Cristián Merino,
Cecilia Morales, Marianela Pérez, Mario Quintanilla,
Leticia Sánchez, Núria Solsona



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE



Fondecyt
FONDO NACIONAL DE DESARROLLO
CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO



BellaTerra
Sociedad Chilena de Didáctica,
Historia y Filosofía de la Ciencia



GRECIA
Laboratorio de Investigación
en Didáctica de las
Ciencias Experimentales



Las Competencias de Pensamiento Científico desde las *'emociones, sonidos y voces'* del aula

Aportes de Teoría y Campo desde la investigación
avanzada en Didáctica de las Ciencias Experimentales

Volumen 8

Este libro es posible gracias al Proyecto AKA-04 "*Desarrollo de habilidades y competencias de pensamiento científico en estudiantes y profesores y su relación con la adquisición del conocimiento pedagógico del contenido para enseñar en High School*", que ha sido ejecutado íntegramente en Chile, entre los años 2010 y 2014 con el patrocinio de la Academia de Ciencias de Finlandia, el Programa de Investigación Asociativa de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICYT) y la Facultad de Educación de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Santiago de Chile
2014

Director de la Colección: Mario Quintanilla Gatica
Laboratorio de Investigación en Didáctica
de las Ciencias Experimentales (Grecia). Sociedad Chilena
de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia

Compilador del Volumen: Mario Quintanilla Gatica

© BELLATERRA. Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia

Pontificia Universidad Católica de Chile, Campus San Joaquín
Avda. Vicuña Mackenna 4860, Macul - Santiago de Chile.
Teléfono (56)-(2) 2686 5379
www.laboratoriogrecia.cl

1ª edición: Abril de 2014
Inscripción Propiedad Intelectual N° 240.057
ISBN: 978-956-353-764-2
ISBN Obra Completa: 978-956-353-408-5

Editorial Bellaterra Ltda.

Edición al cuidado de Ricardo Rojas V. (ricardorojaseditor@gmail.com)

Corrección literaria: Néstor Bravo F. y Ricardo Rojas V.

Diseño de cubierta, texto y diagramación: María Eugenia Pino Q.

Impresión: ANDROS Impresores

Impreso en Santiago de Chile

Para fines comerciales, quedan rigurosamente prohibidas, bajo sanciones establecidas en las leyes, la reproducción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de ésta por cualquier medio, tanto si es electrónico como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien fotocopia, sin la autorización escrita de los titulares del copyright. Si necesita fotocopiar o escanear fragmentos de esta obra, diríjase a: grupogrecia@uc.cl

Agradecimientos

Este libro, que hoy entregamos a la comunidad científica y académica hispanoamericana, es el resultado de un esfuerzo y compromiso genuino por mejorar la calidad de la enseñanza de las ciencias en nuestros países. Por ello, no puedo sino agradecer muy sinceramente a los/as investigadores/as y becarias del Proyecto AKA-04 que le dan la consistencia teórica y empírica, por cierto siempre incompleta e inacabada, a esta publicación. En particular, a *Mercé Izquierdo, Núria Solsona y Mari Álvarez* por la posibilidad de seguir configurando ideas y acciones teóricamente fundamentadas con base en la investigación y en su vasta trayectoria de mujeres de ciencia, comprometidas con la cultura ciudadana de Catalunya y Galicia.

A *Agustín y Álvaro*, por la posibilidad de seguir construyendo caminos que, aunque discretos, continúan dibujando el rigor de la didáctica de las ciencias en nuestra América Latina.

A *Alberto*, compañero, maestro y amigo en esta aventura de crear lazos afectivos y puentes de conocimiento que crean mundos alternativos a la vorágine inconsistente de cada día.

A *Roxana, Cristián y Luigi*, mi afecto sincero y reconocimiento y admiración por sus compromisos e iniciativas que comienzan a tener frutos consistentes en Valparaíso y Concepción, ciudades que les cobijan como investigadores de alta factura. Gracias.

A *Carol y Olga*, por creer en esta aventura que hoy culmina con la publicación de este libro. Gratitud y bendiciones por el tremendo esfuerzo desplegado estos tres años, en que además han concluido con celeridad y esfuerzo sus tesis doctorales, cuyas directrices teóricas también se hacen parte de este libro.

A *Ricardo y María Eugenia* por el excelente trabajo realizado en la producción y edición final de este libro.

Del mismo modo al *Dr. Don Metz* de la Facultad de Educación de la Universidad de Winnipeg, Canadá, quien tuvo la gentileza de acogerme

durante el invierno del 2013 y permitirme avanzar en la producción y sistematización del libro, cuya estructuración lógica y contenidos, fueron finalmente ajustados en Barcelona en septiembre de 2013.

Al Departamento de Relaciones Internacionales de CONICYT y a la Vicerrectoría de Investigación de la Pontificia Universidad Católica de Chile su permanente colaboración y patrocinio para llevar a buen término esta publicación.

Al Proyecto Puente 21/23, financiado por la Vicerrectoría de Investigación de la Pontificia Universidad Católica de Chile "*Identificación, caracterización y promoción de Competencias de Pensamiento Científico en Educadoras de Párvulos en formación. Su contribución a la calidad de la profesionalización docente en las primeras edades*", cuyas orientaciones teóricas también quedan expresadas en esta publicación.

Al concluir mis palabras, quiero expresar mi auténtica gratitud al Proyecto de Colaboración conjunta CONICYT-AKA 04 del Gobierno de Chile, a la Academia de Ciencias de Finlandia y la Universidad de Helsinki, que permitieron financiar íntegramente la publicación de este libro, en particular a mi contraparte finlandesa, el *Dr. Ismo Koponen*, quien creyó siempre en el sentido último de esta publicación.

Quito - Ecuador, febrero de 2014

*Dedico esta nueva producción literaria
–fruto del trabajo colaborativo entre personas nobles,
que con su talento y generosidad
han caminado conmigo en estos tiempos de angustia–,
a la memoria de mi madre MARÍA DINA DE JESÚS (QEPD),
quien cada día me envía en sus recuerdos
e historia de vida, la energía necesaria
para continuar haciendo camino al andar.*



Índice

Presentación	11
Capítulo 1	15
<i>Directrices epistemológicas para promover Competencias de Pensamiento Científico en las aulas de ciencias</i>	
Mario Quintanilla, Mercè Izquierdo, Agustín Adúriz	
Capítulo 2	31
<i>La re-construcción de un ‘hecho de vida’ para enseñar a decidir... y a argumentar en la clase de ciencias</i>	
Mercè Izquierdo, Cristián Merino, Mario Quintanilla	
Capítulo 3	53
<i>Uso de la Historia de la Química como dispositivo teórico y praxiológico para promover Competencias de Pensamiento Científico</i>	
Mario Quintanilla, Núria Solsona, Álvaro García, María Álvarez	
Capítulo 4	97
<i>Hacia la construcción de un Sistema de Aula con actividades de aprendizaje orientadas al desarrollo del estudiante</i>	
Olga Malvaez, Alberto Labarrere, Leticia Sánchez	

Capítulo 5 121***Aprendiendo a promover Competencias Científicas escolares mediante el diseño de preguntas con sentido***

Carol Joglar, Mario Quintanilla

Capítulo 6 153***Una propuesta didáctica fundamentada en la Narrativa Científica y en la promoción de competencias para la enseñanza del Enlace Químico***Roxana Jara, Mario Quintanilla, Cecilia Morales,
Carolina Arredondo, Marianela Pérez, Beatriz Díaz**Capítulo 7** 175***La Historia de la Ciencia como fundamento metateórico de una nueva práctica profesional docente****Análisis e intervención en distintos factores vinculados al aula*

Luigi Cuéllar, Mario Quintanilla

Los Autores 203

Presentación

Al iniciar la presentación de este libro no puedo sino reiterar mi perspectiva teórica en el ámbito al cual este libro le da cabida: la educación científica en una sociedad compleja.

Estamos de acuerdo, que la nueva finalidad de la enseñanza de las ciencias naturales en un mundo en permanente transformación, ha de ser el de proporcionar una cultura y educación científica ciudadana para que los nuevos actores y autores de los tiempos venideros comprendan 'de verdad' y valoren el conocimiento científico a una escala planetaria. Ello requiere un nuevo profesional docente en este ámbito, reclamando una genuina transformación de los modelos de formación inicial y continua del profesorado de ciencias.

Desde 2007, en nuestros diferentes proyectos de investigación nacionales y de colaboración internacional, hemos reportado hallazgos interesantes, aunque todavía discretos, sobre los diversos modos de pensar que profesores y estudiantes de secundaria ponen en juego a la hora de (re)construir significados científicos en las clases de ciencias. A partir de estos hallazgos y complementando con un análisis detallado de aspectos metacientíficos (históricos, socioculturales, epistemológicos y didácticos), hemos diseñado y validado con los mismos profesores, secuencias de enseñanza para el aprendizaje del enlace químico, el metabolismo, la membrana celular, calor y temperatura, interacciones específicas, entre otros conocimientos contemplados en el currículo explícito escolar de Chile, que dan cuenta del desarrollo y promoción de Competencias de Pensamiento Científico específicas en el estudiantado de secundaria. Siguiendo en esa misma idea, nos propusimos compartir con la comunidad aspectos teóricos y prácticos de nuestro programa de investigación que pudieran ser útiles para el profesorado de ciencias naturales, contribuyendo al desarrollo de aprendizajes de calidad y con equidad.

La actividad científica escolar debe promover el desarrollo de CPC, a partir de la necesidad de resolver situaciones problemáticas que requieren planteamientos nuevos desconocidos hasta ahora (la actividad científica como un proceso continuo). Un análisis de la situación actual en el terreno de la formación de compe-

tencias, arroja la carencia de sistemas y situaciones evaluativas que, de manera coherente y sistemática, den cuenta del desarrollo de las competencias en general, y de pensamiento científico, en particular. De ahí surgen en gran medida, las páginas de esta nueva publicación de nuestro laboratorio. Es uno más de los indicadores de productividad, generados a luz de las directrices epistemológicas y metodológicas de los Proyectos AKA-04, FONDECYT 1110549 y Proyecto Punte 021/2013, que se materializa hoy en este libro, constituido por 7 capítulos de alta factura y reflexión, derivadas de la génesis teórica surgida a partir de diferentes trabajos de campo, cuya evidencia empírica será compartida en una próxima publicación durante el 2014. Su finalidad, en relación a los proyectos mencionados, es contribuir a la promoción y desarrollo de una reflexión teórica acerca de la noción de competencias de pensamiento científico (CPC) como un componente relevante a la hora de intervenir en la formación docente, considerando las tendencias internacionales en la materia.

En el ánimo de valorar significativamente los aportes de mis compañeros y compañeras, que colaboran en este programa de investigación internacional, es mi deber como Director destacar que los valiosos materiales contenidos en sus diferentes capítulos trascienden la orientación teórica que les da cabida, para convertirse en un valioso estímulo, aunque discreto e inacabado, para la reflexión y el estudio teórico del aprendizaje y enseñanza de las ciencias y la formación del profesorado.

Todos los capítulos, recogen el espíritu permanente de nuestro Laboratorio GRECIA (www.laboratoriogrecia.cl) y abordan con rigurosos fundamentos y discrecionalidad una temática de gran actualidad e importancia práctica (CPC). Se sitúan razonablemente en un terreno donde, ciertamente, muchos aspectos teóricos deben ser aún esclarecidos e investigados en profundidad, pero que resultan de gran interés considerar, generando desafíos educativos para la iniciativa, la innovación y, en suma, la actividad científica escolar de profesores y estudiantes, cuyo deseo ha de manifestarse siempre que interpreten el mundo desde el conocimiento, que cotidianamente proporciona la ciencia de los eruditos y la ciencia escolar a la animación argumentada y debidamente justificada del currículo escolar.

En cada uno de los capítulos se advierte y suma de manera natural, una coincidencia hacia la promoción de la actividad independiente de los estudiantes; hacia la búsqueda reflexiva, la toma de conciencia y la elaboración autónoma de ideas, puntos de vista, materiales y recursos por parte del profesorado. La solución y re-solución de problemas en el aula de ciencias, se constituye así en el eje vertebrador del análisis y evaluación de nuestra temática; es decir, orientar al pensamiento científico del estudiantado, hacia niveles superiores competenciales, tales como la argumentación, la justificación de las ideas y explicaciones de los sujetos que aprenden a interpretar el mundo con teoría mediante procesos cognitivos complejos y únicos.

Proporcionamos así, a los docentes de ciencia, investigadores y responsables de la formación de profesores/as, mediante esta compilación, particular, por cierto siempre incompleta y polémica, desde la enseñanza de las ciencias, directrices teóricas razonables concebidas como un apreciable intento de colaboración con la toma de Decisiones de Diseño Didáctico (DDD), orientando a cada docente en aspectos de naturaleza teórica y metodológica, necesarios para contextualizar los modelos teóricos de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

Por último, quisiera enfatizar que, el selecto grupo humano que configura esta producción literaria, es un privilegio y un ejemplo de auténtica humanidad para el lector. Su sencillez, compromiso, talento y convicciones que compartimos, derivadas de nuestras experiencias de investigación, formación y desarrollo profesional en España, Brasil, México, Colombia, Argentina y Chile, resaltan por el respetable conocimiento en sus disciplinas de origen y afectos por los tópicos que se abordan en el libro. Por tanto, no queda menos que reconocer el hecho de que hayan aportado su esfuerzo y concitado voluntades para poner a nuestra disposición tan importante material educativo, que seguramente trascenderá en el tiempo y contribuirá humildemente a mejorar algunas dimensiones relevantes de la educación científica en un momento particular de la historia de nuestros países, en un momento privilegiado para aprender a leer el mundo desde las emociones, el lenguaje, los valores y la cultura.

Dr. Mario Quintanilla Gatica

Presidente de la Sociedad Chilena de Didáctica,
Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra)
Director del Laboratorio GRECIA
Profesor Asociado Facultad de Educación.
Pontificia Universidad Católica de Chile.

Santiago de Chile, marzo de 2014



Capítulo 1

Directrices epistemológicas para promover Competencias de Pensamiento Científico en las aulas de ciencias

Mario Quintanilla, Mercè Izquierdo, Agustín Adúriz

Contenido

- *Resumen*
- *¿Qué noción de “competencia de pensamiento científico”
y para qué finalidades educativas?*
 - *La construcción de sujetos
científicamente competentes*
- *Las competencias de pensamiento científico
y el modelo cognitivo de ciencia escolar*
- *Hacia una caracterización de la actividad
científica escolar “competente”*
 - *Algunas reflexiones finales*
 - *Referencias bibliográficas*

Resumen

En los últimos cincuenta años se han producido cambios importantes en la manera de concebir, desarrollar y evaluar la educación científica formal. La “nueva” enseñanza de las ciencias se dirige ahora a todos los públicos y se plantea objetivos ambiciosos, no exentos de cierta cuota de utopía, alrededor de la necesidad de formar ciudadanos y ciudadanas de pleno derecho. Actualmente existe, en la comunidad académica de la didáctica de las ciencias, consenso acerca de que esos objetivos requieren de una nueva componente curricular, la llamada *naturaleza de la ciencia* (cf. Matthews, 1994; McComas, 1998; Adúriz-Bravo, 2005). Entenderemos aquí por naturaleza de la ciencia un *conjunto de contenidos metacientíficos (principalmente provenientes de la epistemología, la historia de la ciencia y la sociología de la ciencia), ecléctica y pragmáticamente seleccionados y fuertemente transpuestos, con el fin de que tengan valor para una educación científica de calidad para todos y todas* (Adúriz-Bravo, 2005, 2008).

Creemos que la naturaleza de la ciencia, como componente curricular emergente, nos ayudaría a desarrollar, en las clases de ciencias, una genuina *actividad científica escolar* (Izquierdo, 2000), en la cual se pongan en marcha diferentes procesos cognitivos y lingüísticos “de alto vuelo” usuales de la investigación científica (cf. Sanmartí e Izquierdo, 1997; Sanmartí, 2003). Entre estos procesos (que a su vez requieren de procedimientos, habilidades, capacidades, competencias, etc., de orden superior), podríamos mencionar los siguientes, que nos parecen sumamente relevantes por sus productos epistémicos: la explicación y la argumentación; el uso de las analogías y metáforas; los razonamientos (deductivos, inductivos, abductivos...); la generación y la puesta a prueba de hipótesis; la recuperación, el tratamiento y la presentación de información científica; la modelización; la narrativa (cf. Adúriz-Bravo, 2005, 2007).

En línea con esta idea de actividad científica escolar, los profesores y profesoras, cuando enseñamos ciencias en el marco de la educación formal en cualquier nivel educativo, sabemos que es muy importante tratar en nuestras aulas diversas cuestiones metacientíficas relativas a qué es la ciencia, cómo se elabora, cuál es su grado de validez, cómo representa el “mundo real”, cómo cambia a lo largo del tiempo, qué relaciones establece con la sociedad y la cultura de su época, cómo se comunica y se difunde, cuál es su valor para la vida cotidiana y para el ejercicio de la ciudadanía, cuáles son sus maneras de hablar y escribir sobre los fenómenos y las ideas, cuáles son los modos en que genera “evidencias” para fundamentar lo que dice, etc. Todas estas ideas de naturaleza de la ciencia dan robustez epistemológica a una actividad científica escolar autónoma y creativa, y nos permiten abrir el juego a genuinas *competencias de pensamiento científico* (CPCs) que sean propias de la ciencia escolar. En este capítulo nos proponemos fundamentar, desde

un punto de vista epistemológico, las competencias de pensamiento científico que creamos educativamente deseables (Quintanilla *et al.*, 2012; Quintanilla *et al.*, 2013a, 2013b).

1.1 ¿Qué noción de “competencia de pensamiento científico” y para qué finalidades educativas?

La noción de *competencia científica*, que está ganando terreno muy rápidamente en la discusión actual alrededor de la calidad de la educación en ciencias (cf. OECD, 2007), nos remite a una persona (“sujeto competente”) que es capaz, que sabe, que puede hacer, que tiene capacidad reconocida para afrontar una situación, que posee un cierto grado de dominio de habilidades y de recursos para la acción. En este sentido, está fuertemente vinculada a la posibilidad de enfrentarse con problemas genuinos y de resolverlos exitosamente¹. Un sujeto competente es alguien que desarrolla un conjunto coordinado de acciones para captar, pensar, explorar, atender, percibir, formular, manipular e introducir cambios en un entorno específico dado, acciones que le permiten desempeñarse mediante una *interacción* eficaz (cf. Bruner, 1961).

A nuestro juicio, se habría de poner el foco en la generación –entre el estudiantado– de competencias de orden superior *epitómicas* (esto es, características o ejemplares) de las ciencias, competencias que podríamos llamar “cognitivolingüísticas” (cf. Sanmartí, 2003), puesto que demandan la activación de habilidades de pensamiento complejas y la producción de textos de alto nivel de elaboración. Entre estas competencias, como dijimos, estarían la formulación y la contrastación de hipótesis; la explicación y la argumentación científicas escolares; el uso del pensamiento analógico (a través de modelos analógicos, análogos concretos, epítomes, símiles y metáforas); los diferentes modos de inferencia; y la narrativa. Por tanto, una de las finalidades principales de la educación científica de hoy en día habría de ser el lograr niños y niñas, adolescentes y jóvenes capaces de dar sentido a su intervención activa en el mundo, de tomar decisiones fundamentadas, y de establecer juicios de valor robustos poniendo en marcha, de forma autónoma y crítica, esas competencias cognitivolingüísticas para dar coherencia a su pensamiento, su discurso y su acción sobre el mundo natural.

1 Para el famoso *Programme for International Student Assessment* (Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos) de la OECD, en su documento *PISA 2006*, la competencia es “la capacidad de los alumnos para aplicar conocimientos y destrezas en materias clave y para analizar, razonar y comunicarse de manera efectiva mientras plantean, resuelven e interpretan problemas en situaciones diversas” (OECD, 2007; traducción al castellano hecha por la el Grupo Santillana en 2008, pág. 18; disponible on-line en diversos sitios web).

Entonces queda planteada una cuestión central para la investigación y para la innovación en didáctica de las ciencias: ¿cómo generar y fomentar este tipo de competencias en nuestros estudiantes? Nos encontramos frente al desafío de diseñar, llevar adelante y evaluar nuevas prácticas de enseñanza de las ciencias, en todos los niveles de escolaridad (desde el infantil hasta el universitario), que sean profundamente educativas y emancipadoras, esto es, que *formen personas* realizadas, críticas, autónomas, participativas, solidarias, tolerantes. En esta línea, se hace necesaria la recuperación de un *modelo de ciencia como actividad profundamente humana*: hecha por humanos y para humanos (cf. Izquierdo, 1996, 2000, 2005c).

Desde una perspectiva menos tecnicista, podemos considerar las competencias en ciencias –como en las demás áreas curriculares– a modo de “pilares fundamentales de la educación” (Delors *et al.*, 1996). Para el llamado “Informe Delors”, esos pilares serían: *conocer, hacer, ser y vivir juntos*. En el espacio que nos convoca, el de la enseñanza de las ciencias “naturales” (también llamadas “experimentales”), los pilares de una educación científica de calidad para todos y todas se traducirían y especificarían en los cuatro elementos constituyentes de una genuina *actividad científica escolar* basada en modelos teóricos (cf. Izquierdo, 2004, 2005a, 2005b, 2007): *intervenir* en el mundo, *pensar* con teorías, hablar y escribir con diversos sistemas de *comunicación*, y perseguir *finalidades* de acuerdo con ciertos *valores*. Para ello se requiere conocimiento disciplinar, contextos significativos, determinadas capacidades (Adúriz-Bravo, 2012) y una actitud favorable a la construcción de conocimiento experimental. Desarrollaremos este requisito más adelante.

En este contexto actual de cambios ideológicos, políticos, teóricos y metodológicos, se busca también superar la época de los instrumentos de evaluación “calificatoria” formulados por el profesorado, el texto o la institución. Se trata ahora de poner en relieve las *preguntas* de los y las estudiantes, que los profesores y profesoras escuchan y conducen, mostrando así que consideran que aquellos tienen “algo para decir” sobre el mundo que nos rodea. El profesorado de ciencias asume una doble posición: 1. de orientador de los procesos de adquirir y usar el conocimiento científico “normativo” que es traído al aula, a menudo por el mismo profesor o profesora; y 2. de creador de un ambiente evaluativo *intencionado* donde, además, las preguntas científicas de los y las estudiantes cobren sentido y valor. Según lo dicho, las competencias de pensamiento científico representarían una combinación dinámica de atributos en relación con conocimientos, habilidades, actitudes y valores que capturan los “resultados” de un aprendizaje conseguido dentro de un programa *educativo* más amplio y enriquecedor, en el que los y las estudiantes son capaces de demostrar de manera no reproductiva que han aprendido ciencia y que pueden ponerla en acción ante las disímiles situaciones que se les presentan (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001).

Entonces, la competencia de pensamiento científico es entendida aquí como la capacidad de responder con éxito a las exigencias personales y sociales que nos plantea una actividad (científica en este caso) o una tarea cualquiera en el contexto del ejercicio de la ciudadanía, e implica dimensiones tanto de tipo cognitivo como no cognitivo. Cada competencia se basa en una combinación de aptitudes cognitivas y prácticas de orden diverso (mental, material, discursivo, decisional...), que se ponen en funcionamiento conjuntamente para la realización eficaz de una acción. En las competencias, conocimientos, motivaciones, valores, actitudes, emociones y otros elementos sociales y culturales se aúnan de forma significativa para producir resultados. Así, una competencia es un tipo de conocimiento complejo que siempre se ejerce en el seno de un *contexto* que le da sentido (Quintanilla, 2006; Adúriz-Bravo, 2012).

1.2 La construcción de sujetos científicamente competentes

Pese a que las competencias, tal como se las ha conceptualizado desde los más diversos posicionamientos teóricos, presentan una naturaleza elusiva, nuestro intento de especificarlas está dirigido a conformar una representación de ellas que no se limite a determinar “maneras de hacer”, sino que además ponga de manifiesto las cualidades “deseables” de lo que queremos denominar el *sujeto científicamente competente*. Desde nuestra mirada, ese sujeto que utiliza competentemente los modelos teóricos (escolares) para intervenir en el mundo, siguiendo determinados valores y valiéndose de determinados lenguajes, se constituye como agente de un hacer transformador sobre el mundo, ajustado en forma “moderadamente racional” a determinadas finalidades epistémicas, que incluyen la capacidad de hacerse preguntas significativas (o hacer suyas, significativamente, las que propone el profesor/a), de contestarlas por medio de la aplicación de modelos teóricos que son patrimonio colectivo, y de intervenir en el mundo según un determinado sistema de valores consensuados, pero históricamente dependientes (Etcheverría, 2002).

El sujeto científicamente competente es capaz de identificar situaciones problemáticas y de abordarlas con la conciencia de los recursos cognitivos, discursivos y materiales propios que constituyen su “perfil personal de actuación”. Desde esta consideración, la competencia emerge como un atributo de los sujetos competentes y no es “impuesta” desde afuera; ella se corresponde con un determinado aspecto de la actuación sistemática como persona autónoma, crítica, solidaria y tolerante. La competencia científica, entonces, nos serviría a modo de herramienta teórica de valoración y evaluación de la manera en que los distintos sujetos identifican, enfocan y resuelven las situaciones a que se enfrentan en su vinculación con los fenómenos naturales (Quintanilla *et al.*, 2012; Quintanilla *et al.*, 2013a, 2013b).

Nuestra idea es tratar de identificar estas *competencias de pensamiento científico escolar*, caracterizarlas, y establecer las funcionalidades didácticas de cada una de ellas en el diseño de una genuina actividad científica escolar. Lo haremos de una manera poco dogmática, abierta a las emergencias que se producen en las aulas reales, en las cuales aprenden y se educan jóvenes con expectativas de vida y de trabajo muy diversas. Para ello debemos ponernos de acuerdo en algunas características de la actividad de los científicos y de su producto, eso que llamamos "ciencia" (lo haremos en el siguiente apartado), y luego elaborar estrategias para que en la escuela se produzca actividad científica escolar y su producto, la ciencia escolar. Las CPCs escolares que identificaremos son las que deberían adquirirse a lo largo de este proceso.

1.3 Las competencias de pensamiento científico y el modelo cognitivo de ciencia escolar

Muchos de los esfuerzos teóricos y aplicados para el mejoramiento de la calidad de la educación científica se han centrado en la exploración de qué ciencia se ha de enseñar en nuestras clases, en los diferentes niveles educativos, para que ella tenga un auténtico valor para la formación de los ciudadanos y ciudadanas. Nosotros (cf. Izquierdo, 2000, 2004, 2005a, 2007; Adúriz-Bravo, 2002; Quintanilla *et al.*, 2012) intentamos establecer una base epistemológica para la enseñanza de las ciencias a la luz de algunas nociones contemporáneas sobre la naturaleza de la ciencia, lo cual puede constituir un aporte valioso a la reforma curricular si se plantea desde perspectivas diferentes pero complementarias y "sintonizadas": epistemología e historia de la ciencia, psicología del aprendizaje y ciencia cognitiva, que enriquecen y desarrollan la propia didáctica de las ciencias. Con ello, hacemos un esfuerzo para sintonizar con las actuales reflexiones acerca de la naturaleza de la ciencia, que se hallan muy alejadas de las que muchos profesores en activo recibieron en su formación y que se perciben aún en los medios de comunicación de masas.

Un hecho evidente es que cualquier innovación educativa (y la educación competencial lo es) debería hacerse *a partir de la formación misma del profesorado de ciencias*, o por lo menos tener en cuenta la preparación profesional del docente; por lo tanto, es muy importante que se tenga una concepción de "ciencia" y de "actividad científica" que esté fundamentada en las actuales aportaciones de la epistemología y de la historia de la ciencia.

Para las concepciones *realistas* de ciencia, las teorías científicas intentan describir, al menos parcialmente, cómo es el mundo. Esto significa que en el mundo hay "cosas" (entes) que se pueden caracterizar por sus propiedades, estructura y función: sustancias, animales, vegetales, partículas, tipos de energía, etc. Según este principio, las teorías son "descripciones" al menos parcialmente verdaderas de

lo que pasa en el mundo real. Esta puede resultar una postura estimulante para el análisis e interpretación de los hechos –y de las propias teorías– en las clases de ciencias. Su principal dificultad es que dos teorías pueden dar explicaciones o interpretaciones equivalentes de un fenómeno, provocando la duda de cuál de las dos interpretaciones realizadas es “más real”. El punto central es llegar a *modelizar*, en las explicaciones científicas, para dar coherencia, consistencia y robustez a las representaciones del estudiantado, de tal manera que, conscientes de la interpretación que hacen de los fenómenos (o de la manera de resolver los problemas que aquellas representaciones comportan), puedan modificar paulatinamente esas ideas con más y mejor información, en un proceso de desarrollo que va desde lo “instrumental-operativo” hacia lo “relacional-significativo” (cf. Labarrere y Quintanilla, 2006; Quintanilla *et al.*, 2012).

El actual acercamiento “naturalizado” a la epistemología afirma que la selección de teorías se realiza mediante un proceso complejo que incluye la interacción social y cultural y el juicio personal (cf. Giere, 1992). Se plantea así la racionalidad como *hipotética* o *instrumental*, en tanto que se puede manifestar en diversos grados dependiendo del contexto y las variables que se estudien. Las leyes no serían, entonces, generalizaciones empíricas bien confirmadas, sino que dependerían del juicio del científico y del contexto en el que se analiza la ley. En una concepción naturalizada de la ciencia existe una constante búsqueda de “verdades” transformadoras y significativas, que es parte de la esencia misma de la actividad científica. Consecuentemente, un enfoque naturalizado de la resolución de problemas científicos en el aula habría de poner su atención en la experiencia, la cultura, el lenguaje y el pensamiento de los y las estudiantes, caracterizando un proceso de desarrollo que no comienza ni termina en la escuela, pero que se pone en marcha cuando ellos se enfrentan a asumir la resolución de un problema científico (Quintanilla *et al.*, 2012).

Este “modelo cognitivo de ciencia” (Giere, 1992) se ajusta muy bien al modelo de ciencia que queremos enseñar. Ronald Giere (1992) utiliza este modelo para la ciencia de los científicos, proponiendo que, para saber cómo es una teoría científica, es necesario saber cómo la utilizan, de hecho, los científicos y científicas en su desempeño profesional. De esta manera, él sugiere analizar cómo aparecen las teorías en los libros de texto especializados y cómo los científicos se valen de ellas en sus discusiones en contextos específicos altamente refinados. Giere califica su postura como *realismo naturalista* o *realismo pragmático*, al considerar que la ciencia intenta representar e interpretar el mundo con determinadas ideas abstractas extremadamente generales producto de una laboriosa creación colectiva. Es “naturalista” porque pretende explicar los juicios y decisiones científicas a partir de los criterios propios de los científicos y no de principios racionales de carácter general, tal y como lo planteaba la epistemología más tradicional, de

corte positivista. Esta sería, por así decirlo, la novedad epistemológica de este modelo. La drástica separación entre sujeto y objeto, que era un requisito de la ciencia moderna en una etapa histórica anterior, se desdibuja y con ello se hace posible una visión de "ser humano" en la cual la creatividad y las emergencias de significado tienen cabida en función de nuevas preguntas y nuevos valores y finalidades.

Nosotros nos apropiamos de estas orientaciones para una propuesta de enseñanza de las ciencias "epistemológicamente fundamentada" en los aportes de la llamada *concepción semántica de las teorías científicas*, el reciente *giro cognitivo* de las disciplinas científicas sociales y la llamada *visión basada en modelos* de la epistemología actual. Los planteamientos de un modelo cognitivo de ciencia escolar permitirían, así, más o menos "entrar" en la ciencia del aula. Entre los postulados de los que partimos, podemos destacar los siguientes: 1. el mundo se interpreta con modelos teóricos; 2. el método de interpretación es evolutivo y natural y por lo tanto muy diverso; y 3. los modelos y las interpretaciones han de tener un "sentido humano".

El modelo de modelo científico que propugna Giere puede diseñar un camino apropiado, con valor educativo, para la transposición del saber. Esta línea de trabajo nos parece muy interesante y prometedora para enfrentar el proceso de enseñanza de las ciencias, ya que permite establecer prudentes conexiones entre los modelos teóricos (el mundo de las ideas), los sistemas reales (trabajo experimental, manipulación de lo real) que ellos pretenden *representar*, tanto en científicos como entre el profesorado y el estudiantado (cf. Quintanilla, 1997) y los lenguajes con los cuales pueden comunicarse los resultados. (cf. Giere, 1992; Izquierdo, 2000). De esta forma, se piensa, se hace y se expresa la ciencia conectando permanentemente estos tres elementos sin separar la teoría de lo empírico, como lo sugiere la concepción semántica, que insiste en destacar el significado de las entidades teóricas en el mundo real.

Uno de los elementos interesantes que postula este modelo de ciencia es el "racionalismo hipotético", que significa que, si alguien (científico, profesor de ciencias) tiene una meta, va hacia ella planteando cómo hacerlo "en el camino". En definitiva, las comunidades científicas y las personas saben valorar si se acercan bien o mal a las metas consensuadas, sobre la base de una construcción común de un "hecho paradigmático" y una interpretación del mismo desde "diferentes miradas" del mismo fenómeno (diversidad de explicaciones científicas en el estudiantado). En este sentido, el estudio de cómo funciona una comunidad (en nuestro caso, el aula de ciencias) y cuáles son sus "criterios de racionalidad" nos acerca a una "racionalidad moderada", apta para comprender la ciencia que enseñamos y para instalar esta nueva finalidad de impregnar una lógica distintiva de enfrentar al sujeto que aprende con la resolución de problemas científicos.

Vamos a ver si estas consideraciones nos permiten concretar algo más la nueva orientación que estamos proponiendo para la enseñanza de las ciencias y también anticiparnos a las previsibles dificultades que vamos a encontrar para hacerlo.

1.4 Hacia una caracterización de la actividad científica escolar “competente”

Tal como se pregunta José Antonio Marina (2005), ¿quién en nuestros días no aspira a vivir resueltamente, sin sentirse atrapado por la ignorancia, la pobreza, el desánimo o la violencia? Las CPCs han de contribuir a alcanzar una aspiración de este estilo: a una vida humana digna, combatiendo la ignorancia. Entonces, las CPCs se podrían ver como competencias básicas en las que interviene el ser, el conocer y el compartir, concretadas en “hacer ciencia”. Esta es la novedad: hemos de recrear para el estudiantado su propia experiencia científica en el aula, con finalidades educativas que no son las de la propia ciencia erudita. Por ello, esta recreación es una tarea específica del profesorado de ciencias, así como las preguntas y retos que plantea tal tarea son los propios de la investigación en la didáctica de las ciencias.

Así, los desafíos que se plantean la investigación e innovación didácticas son muy importantes y, a medida que intentamos alcanzarlos, las dificultades se nos aparecen de manera más nítida, sin que ello nos impulse a abandonar la tarea, sino todo lo contrario. Nos damos cuenta de que “trabajar por competencias” en la escuela a partir de los planteamientos que acabamos de hacer es un camino que sólo puede andarse si, a la vez, se innova profundamente la enseñanza de las ciencias, según la orientación de lo que hemos venido llamando, de manera premonitoria, “ciencia escolar” o, mejor, “actividad científica escolar” (ACE). Se nos puede criticar el adjetivo, apelando a que la ciencia es como es y no admite este tipo de matices. Sin embargo, como que huimos de las definiciones (porque sólo se puede definir de manera rigurosa lo que ya ha terminado y, por ello, se ha vuelto obsoleto) y como que destacamos que la función educativa de la escuela es proporcionar un futuro humano al estudiantado, no tememos afirmar que la ACE tiene características específicas que no son las de los científicos, sin que deje de compartir otras, las que la identifican como cultura humana surgida del deseo de conocer y de explicar a los demás lo que nos parece verídico para fundamentar así la vida de las personas (Fernández *et al.*, 2002).

Es muy importante poder dar algunas pistas para iniciar este camino, que probablemente iremos recorriendo, paso a paso, durante muchos años. Quizás una metáfora nos ayude a anticipar la tarea que nos espera: si la vida de cada cual es avanzar con resolución a través de un paisaje más o menos abrupto, sabiendo que será necesario inventar soluciones y establecer alianzas, la ciencia escolar que di-

señamos ha de proporcionar algún recurso para el camino. Ese recurso sería el de conectar a los alumnos y alumnas con personas que vivieron el gozo de conocer y experimentar, que se convierten en compañeros de viaje. Ello les proporcionaría pautas de intervención y control de fenómenos, para superar y anticipar peligros; les ofrecería un cierto mapa de lo que va a ser el camino que, a la vez, ayudará a abrir nuevos senderos. Si bien este tipo de camino muestra lo poco que saben (están aprendiendo con dificultad) y qué es lo que sí se sabe (¡los científicos son humildes!), también proporciona gozo el saberse menos ignorantes en aquello que sí que se ha aprendido y que ya se puede utilizar.

Una vez establecida la dependencia de la ciencia escolar con las finalidades educativas de la escuela, concretadas en dar un futuro humano a nuestros estudiantes, debemos comprometernos con determinados contenidos científicos; si no los hay, no pueden alcanzarse genuinas CPCs. Con ello queremos recordar que algunas veces se confunden las competencias con las capacidades humanas; aparece entonces un número ingente de “competencias”, porque las capacidades humanas (cognitivas, emotivas, morales, sociales...) son innumerables... y los profesores de ciencias nos encontramos un poco perdidos. Para nosotros, las competencias escolares podrían asimilarse a ecuaciones (funciones que se aplican a un argumento) cuya resolución es una actividad determinada realizada con éxito. En ellas, como ya se ha dicho, intervienen actitudes y capacidades (las de los alumnos, que deben desarrollarse al máximo) que se hacen operar en un contexto, y un conocimiento que debe interesar a los alumnos, ser relevante para su futuro y necesario para comprender los modelos más básicos de las ciencias en la etapa educativa de que se trate.

La reflexión a partir de este punto, puede desarrollarse en tres direcciones:

1. Identificar contextos en los que se plantean los problemas relevantes que requieren ACE y, consecuentemente, CPCs;
2. establecer los modos de comunicación que permitirán interacciones “competentes” entre las personas y los fenómenos; y
3. construir los conceptos para relacionar fenómenos y construir explicaciones.

Podemos imaginar que son senderos diferentes que se encuentran en una encrucijada, allí donde confluyen los problemas (el hacer), las soluciones (el pensar) y las maneras de comunicarlas (los lenguajes). Los alumnos sólo alcanzan esa encrucijada si la ACE ha tenido éxito; sin el profesor o la profesora, los senderos les llevarían quién sabe adónde. Los profesores, en cambio, lo hacen a la inversa, parten de la encrucijada a la que habrán de conducir a sus alumnos, porque saben a dónde quieren llegar, anticipan las dificultades de los alumnos y seleccionan los itinerarios por los cuales deberán transitar.

La encrucijada de la cual parte el profesor y a la cual llegan los alumnos determina una manera de transitar por los tres senderos que puede estar bien o mal; la evaluación adquiere, entonces, características muy específicas en una enseñanza por competencias.

Hemos dicho ya que la competencia requiere una actividad realizada con éxito. Por lo tanto, va a ser necesario que el alumnado comparta un determinado sistema de valores para saber si lo que hace está bien o mal. La actividad humana es muy compleja: requiere un agente que hace algo en unas condiciones determinadas y con algunas consecuencias (Echeverría, 2002). Además, en la actividad escolar, los agentes son varios, y deben sintonizar sus respectivas acciones. Por todo ello, es evidente que son muchos los valores que deben satisfacerse en las aulas y que van a hacerlo en diferentes grados, de manera que la evaluación va mucho más lejos y es más matizada de lo que pueda representar un número del 0 al 10, como ha sido habitual hasta hace poco.

Ha llegado el momento de concretar algo más estas reflexiones, y lo haremos destacando cuáles son los valores que deberán satisfacerse como requisito para considerar que la actividad científica escolar se ha llevado a cabo con éxito en un aula de ciencias. Esos requisitos serán los que permitan decidir si se sabe de qué se habla cuando se habla, si se es capaz de transitar entre lenguajes diferentes, si se puede explicar un fenómeno relevante mediante modelos, y si tiene en cuenta el impacto de las intervenciones experimentales en el mundo. Dicho en otras palabras, las competencias de pensamiento científico principales (“epitómicas”) que se manifiestan en la ACE son: saber preguntar, relacionando las preguntas con la respuesta; explicar, relacionando hechos y teorías; aplicar los conocimientos según finalidades... sabiendo, eso sí, que determinar si las finalidades son buenas o malas es algo que va más allá de lo que podemos decir desde las ciencias y requiere tener claro qué significa vincular el “vuelo de la inteligencia” a la construcción de la dignidad humana.

1.5 Algunas reflexiones finales

Así pues, si los profesores diseñamos bien nuestras clases, disponemos de una hoja de ruta que hemos elaborado para que nuestros alumnos transiten adecuadamente por senderos que han de acabar confluyendo, según valores que progresivamente adquirirán contenido. Pero los alumnos también tienen una hoja de ruta suya, más o menos implícita, que les llevaría probablemente hacia otras metas. Ahora los alumnos, en una escuela constructivista, tienen más voz, se sienten más autónomos; pero el profesor siempre de alguna forma ha de “saber más”, y no puede frustrar las ganas de conocer, sin las cuales la escuela no tiene sentido. Hacer bien el oficio de profesor es ahora más exigente, porque formar

personas competentes, implicadas en su aprendizaje y que no hablen un bla-blá sin sentido en sus vidas es difícil; pero también es mucho más interesante. Nos parece que una reflexión sobre el significado de la ciencia y el valor del conocimiento y de su construcción (considerando que es una de las más legítimas aspiraciones humanas, que no puede negarse a nadie) puede ayudar a ser competente en la nueva docencia que proponemos (Quintanilla *et al.*, 2013).

Esta hoja de ruta puede establecerse según determinados compromisos que podemos compartir y que hacen posible elaborar currículos de ciencias más o menos similares, en diferentes países y para diferentes niveles educativos, siempre y cuando estemos de acuerdo en qué tipo de actividad y de acciones pueden llevar a cabo con una cierta autonomía nuestros alumnos².

Para poder llevar a cabo actividades científicas escolares "competentes" (estas encrucijadas de las que venimos hablando), se han de establecer determinados compromisos (relacionados con los tres senderos que convergen):

- Compromiso con los modelos básicos de las ciencias (*conceptos científicos escolares*): es habitual que los conceptos científicos sean, para los alumnos, simples palabras cuyo significado se estipula en un diccionario. Los profesores de ciencias sabemos que son mucho más: toman sentido en un modelo científico que, según Giere, incluye una manera determinada de actuar y de hablar.
- Compromiso con los retos básicos de la humanidad (*contextos de una actividad sociocientífica*): escoger los contextos en los cuales se desarrollan y se ponen a prueba las competencias de pensamiento científico (CPCs) de los alumnos es difícil, y requiere estar abierto a las demandas sociales (a considerar dignos de estudio temas que surgen en la prensa, que son de interés pero en los que quizás nunca hemos pensado), a escuchar a los alumnos, y a explorar, como profesores, situaciones que nunca habíamos considerado y que debemos estudiar de nuevo.
- Compromiso con la diversidad de lenguajes (*modos de comunicación*): las ciencias se caracterizan por comunicar sus resultados mediante símbolos, gráficos, esquemas y analogías... También la actual sociedad de la información utiliza diversidad de recursos semióticos que se han de saber interpretar, combinar y utilizar para comunicar y para construir conocimiento.

El valor de la ciencia escolar está en la nueva mirada que ha podido generar en los

2 Vamos a poner algunos ejemplos: Del CO₂ a la madera... y vuelta a empezar; El agua de un manantial: su sabor, su itinerario por la tierra, las sustancias que lleva disueltas; ¿Cómo funciona un teléfono móvil?; Contemplar el firmamento: el telescopio, la luz, la composición de los planetas, propiedades de la materia, orientarse; El arte de cocinar: mezclas y transformaciones.

niños y niñas concretos, en sus nuevas manos que piensan, en su pensamiento capaz de transformarse en acción. Está en haber brindado por la inteligencia que inventa soluciones y marcha con decisión. Está en haber sabido hacer avanzar en humanidad al grupo al haber superado, aunque sea poco, la ignorancia.

Referencias bibliográficas

- Acevedo Díaz, J. A.** (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: Educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(1), 3-16.
- Adúriz-Bravo, A.** (2002). Un modelo para introducir la naturaleza de la ciencia en la formación de los profesores de ciencias. *Pensamiento Educativo*, 30, 315-330.
- Adúriz-Bravo, A.** (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia: La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Adúriz-Bravo, A.** (2007). La naturaleza de la ciencia en la formación de profesores de ciencias naturales, en Gallego Badillo, R., Pérez Miranda, R. y Torres de Gallego, L. N. (comps.). *Didáctica de las ciencias: Aportes para una discusión*, 17-36. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Adúriz-Bravo, A.** (2008). Áreas de investigación en la didáctica de las ciencias experimentales: La naturaleza de la ciencia, en Merino Rubilar, C., Gómez Galindo, A. y Adúriz-Bravo, A. (coords.). *Áreas y estrategias de investigación en la didáctica de las ciencias experimentales*, 111-125. Bellaterra: Servei de Publicacions de la UAB.
- Adúriz-Bravo, A.** (2012). Competencias metacientíficas escolares dentro de la formación del profesorado de ciencias, en Badillo, E., García, L., Marbà, A. y Briceño, M. (coords.). *El desarrollo de competencias en la clase de ciencias y matemáticas*, 43-67. Mérida: Universidad de Los Andes.
- Adúriz-Bravo, A., Izquierdo-Aymerich, M. y Estany, A.** (2002). Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 465-476.
- Bruner, J.S.** (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review*, 31(1), 21-32.

- Delors, J. et al.** (1996). *La educación encierra un tesoro: Informe a la UNESCO de la Comisión Internacional sobre la Educación para el siglo XXI, presidida por Jacques Delors*. Madrid: UNESCO/Santillana.
- Duschl, R.** (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid: Narcea. (edición original en inglés de 1990)
- Echeverría, J.** (2002). *Ciencia y valores*. Madrid: Destino.
- Fernández, I., Gil Pérez, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A. y Praia, J.** (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477-488.
- Galagovsky, L. y Adúriz-Bravo, A.** (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de *modelo didáctico analógico*. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 231-242.
- Giere, R.** (1992). *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (original en inglés de 1988)
- Izquierdo-Aymerich, M.** (1996). Relación entre la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 8, 7-21.
- Izquierdo-Aymerich, M.** (2000). Fundamentos epistemológicos, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales: Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, 35-64. Alcoy: Marfil.
- Izquierdo-Aymerich, M.** (2004). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: Contextualizar y modelizar. *Journal of the Argentine Chemical Society*, 92(4-6), 115-136.
- Izquierdo-Aymerich, M.** (2005a). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), 111-122.
- Izquierdo-Aymerich, M.** (2005b). Estructuras retóricas en los libros de ciencias. *Tarbiya*, 36, 11-33.
- Izquierdo-Aymerich, M.** (2005c). Nuevos contenidos para una nueva época: Aportaciones de la didáctica de las ciencias al diseño de las nuevas 'ciencias para la ciudadanía', en *Anais do XVI Simposio Nacional de Ensino de Física*. [En línea.]
- Izquierdo-Aymerich, M.** (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las Ciencias Sociales*, 6, 125-138.

- Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A.** (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.
- Labarrere, A. & Quintanilla, M.** (2006). La evaluación de los profesores de ciencia desde la profesionalidad emergente. Cap. 12. En: *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y propuestas*. Editorial UC, 2006, 342 pp, ISBN: 956-14-0865-1.
- Marina, J. A.** (2005). *El vuelo de la inteligencia*. Madrid: Debolsillo.
- Matthews, M.** (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. Nueva York: Routledge.
- McComas, W.** (ed.) (1998). *The nature of science in science education: Rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer.
- OECD** [Organisation for Economic Co-operation and Development] (2007). *PISA 2006: Science competencies for tomorrow's world: Volume I: Analysis*. S/I: OECD.
- Quintanilla, M. et al.** (2012) Las competencias de pensamiento científico desde las voces del aula. Editorial Bellaterra, Santiago de Chile (Proyecto AKA04).
- Quintanilla, M. et al.** (2013a) Unidades Didácticas en Ciencias Naturales. Su contribución al desarrollo de competencias de pensamiento científico en el segundo ciclo básico.. Editorial Bellaterra, Santiago de Chile (Proyecto AKA04)
- Quintanilla, M. et al.** (2013b) Unidades Didácticas en Física y Matemática. Su contribución al desarrollo de competencias de pensamiento científico. Editorial Bellaterra, Santiago de Chile (Proyecto AKA04). En prensa.
- Sanmartí, N.** (coord.) (2003). *Aprender ciències tot aprenent a escriure ciència*. Barcelona: Edicions 62.
- Sanmartí, N. e Izquierdo-Aymerich, M.** (1997). Reflexiones en torno a un modelo de ciencia escolar. *Investigación en la Escuela*, 32, 51-62.

Capítulo 2

La re-construcción de un 'hecho de vida' para enseñar a decidir... y a argumentar en la clase de ciencias

Mercè Izquierdo, Cristián Merino, Mario Quintanilla

Contenido

- *Resumen*
- *Argumentar en la clase de ciencias*
 - *La re-construcción de un hecho para argumentar en ciencias*
 - *Algunas nociones para hacer una buena re-construcción en la clase de ciencias*
 - *Hechos de vida para enseñar a decidir y a argumentar en la clase de ciencias*
- *Hacia una objetivización de la argumentación en el aula*
 - *Próximos avances etapa II del proyecto*
 - *Referencias bibliográficas*

Resumen

En los últimos años, un número creciente de estudios se están centrando en el análisis del discurso argumentativo en diferentes contextos del aprendizaje en ciencias (por ejemplo, Driver *et al.*, 2000; Jiménez-Aleixandre *et al.*, 2000; Kelly y Takao, 2002; Zohar y Nemet, 2002). Estas obras dibujan, entre otros, dos perspectivas. La primera destacan la importancia del discurso en la construcción de los conocimientos científicos (Knorr-Cetina, 1999; Latour y Woolgar, 1986) y las consecuencias para la educación (Boulter y Gilbert, 1995; Erduran *et al.*, 2004). La segunda una perspectiva socio-cultural (Vygotsky, 1978; Wertsch, 1991) señala el papel de la interacción social en el aprendizaje y los procesos de pensamiento, y pretende que el aumento de procesos de pensamiento se originan en actividades socialmente mediadas, particularmente a través del lenguaje. En ambas perspectivas podría añadirse un interés en la participación democrática, que exige un debate entre los diferentes puntos de vista, en especial el lugar que toma el conocimiento científico. La implicación es que la argumentación es una forma de discurso que tiene que ser objeto de apropiación por parte de los estudiantes y se ha de enseñar explícitamente a través de instrucciones adecuadas, de tareas diseñadas, enmarcadas y desarrolladas bajo ciclo de aprendizaje (Sanmartí, 2002) y de modelización (Izquierdo, 2004; Merino, Izquierdo, Arellano, 2008). No obstante aquí emerge una particular problemática educativa. Ya que nuestros docentes han de promover y desarrollar en sus estudiantes, ergo, cómo hacerlo (punto de partida), mediante qué tipo de actividades (desarrollo) y particularmente, cómo evaluar (cierre) este discurso.

Considerando lo anterior, en este capítulo nos dedicaremos a exponer algunas ideas teóricas y un ejemplo de prácticas dirigidas a la promoción de competencias de carácter epistemológico en el profesorado de ciencias, en el marco del Proyecto FONDECYT 1095149 dirigido por uno de nosotros (Quintanilla, 2013). Partimos desde una definición operativa de competencia 'anclada' en las propias ciencias; es decir, una concepción del constructo que supone que 'ser competente' implica desplegar capacidades de orden superior sobre contenidos determinados y en contextos específicos. Nos interesa particularmente cómo los docentes objetivan la argumentación científica escolar para poder dar cuenta de las acciones que ellos fijan como logro en sus estudiantes.

2.1 Argumentar en la clase de ciencias

La argumentación desempeña un papel central en la construcción de explicaciones, modelos y teorías (Siegel, 1995). El caso es que la argumentación un proceso sumamente importante del discurso en la ciencia, y que deben promoverse en el aula de ciencias (Duschl y Osborne, 2002; Jiménez-Aleixandre *et al.*, 2000; Zohar &

Nemet, 2002). Una pregunta importante, sin embargo, es por qué la argumentación merece ser promovida en el contexto del aprendizaje de las ciencias. Dicho más concretamente, ¿cuál es la justificación para la introducción de la argumentación en el aprendizaje de ciencias?

Tiberghien (citado Jiménez-Aleixandre y Erduran, 2009) analiza los referentes externos para la legitimación de la argumentación, distinguiendo dos aspectos: el lugar de la argumentación en ciencias de la educación y el otro las conexiones entre la argumentación y educación para la ciudadanía (Quintanilla, 2006a). Tiberghien, resume el lugar de la argumentación en la educación científica en función de tres objetivos: i) conocimiento sobre la naturaleza de la ciencia, ii) el desarrollo de la ciudadanía y iii) el desarrollo de habilidades de pensamiento de orden superior, o bien, como en nuestro proyecto venimos trabajando hace 9 años en términos de Competencias de Pensamiento Científico (CPC) (Quintanilla, 2006b).

Con un enfoque complementario a la exploración de Tiberghien sobre referentes externos, Erduran y Jiménez (2009) enfatizan sobre la justificación de la argumentación entorno a cinco dimensiones interrelacionadas o contribuciones potenciales en la introducción de la argumentación en las aulas la ciencia:

1. Soporte y acceso a los procesos cognitivos y metacognitivos, caracterizando el desempeño del experto y permitiendo la modelización por parte estudiantas. Esta dimensión se inspiran en la perspectiva de la cognición situada y la considerando el aula como una comunidad de aprendizaje (Brown y Campione, 1990).
2. Soporte al desarrollo de competencias comunicativas y de pensamiento crítico en particular. Esta dimensión se inspiran en la teoría de la acción comunicativa y la perspectiva sociocultural (Habermas, 1981; Wertsch, 1991).
3. Fomento a la realización de una cultura científica y el empoderamiento por parte de los estudiantes para hablar, escribir y pensar en las lenguas de la ciencia (Izquierdo *et al*, 1999). Esta dimensión se basa en estudios del lenguaje y la semiótica social (Norris y Phillips, 2003).
4. Apoyo a la inculturación en las prácticas de la ciencia y el desarrollo de criterios para la evaluación epistémica del conocimiento. Esta dimensión se basa en estudios de la epistemología de la ciencia (Leach, J.; Hind, A. & Ryder, I. 2003. Giere, R., 1998).
5. Apoyo al desarrollo del razonamiento, en particular la elección de teorías o posiciones basadas en criterios racionales. Esta dimensión también se basa en la epistemología de la ciencia (Giere, 1988; Siegel, 2006), así como de la psicología del desarrollo (Kuhn, 1991, 1993).

Todas estas contribuciones se influyen mutuamente, a pesar de que se tratan por separado, para dar mayor claridad de la discusión. Hay que tener en cuenta que al calificar estas contribuciones como potencial, implica que su logro no es necesariamente justificado por la introducción de la argumentación en el aula. Al igual que Erduran y Jiménez (2009), reconocemos que la ejecución de estas dimensiones en el aula de ciencias requieren un enfoque coordinado, complejo y un conjunto sistemático de medidas didácticas, curriculares, de evaluación, entre otros.

De acuerdo a lo anterior, cómo promover en el aula la argumentación, sintonizando en parte con algunas de estas cinco dimensiones mencionadas anteriormente. Según Izquierdo (2002) las ciencias naturales pueden caracterizarse a lo menos por cuatro dimensiones principales, que a su vez originan sugerentes puntos de partida para el debate en el aula:

- Su *objetivo esencial* (¿por qué queremos conocer, describir e interpretar el mundo?);
- Su *metodología* (¿cómo se relacionan los diferentes experimentos y las teorías entre sí?);
- Su *racionalidad* (¿cómo y por qué cambian las teorías a lo largo de la historia humana?); y
- La *naturaleza de las representaciones científicas* (¿nos dicen algo las ciencias sobre el mundo real?).

A partir de la consolidación de estas dimensiones en los distintos enfoques curriculares acerca de y sobre la enseñanza de las ciencias, lo más esencial, sería entonces, enseñar a pensar, hablar y hacer a los estudiantes sobre las situaciones diversas con las cuales se interacciona sistemáticamente con el mundo físico o material.

El Modelo de Dinámica Científica (MADiC) considera que los 'errores' y las 'controversias' son parte de esta dinámica considera que hay cuatro grupos básicos de participantes en las controversias científicas: a) científicos (investigadores), b) evaluadores, c) intervenciones políticas, d) opinión de la sociedad civil (Izquierdo, Vallverdú, Quintanilla y Merino 2006); y que son didácticamente una buena fuente de origen para promover la argumentación y su objetivación en el aula.

Desde otra perspectiva, las vías de resolución de problemas en ciencias plantean tres enfoques:

- el primero de ellos hace referencia con mejorar la representación,
- el segundo desde la introducción de nuevos lenguajes y

- el tercero refinar los métodos de intervención experimental.

Ahora, dentro de una perspectiva de selección de competencias esenciales y prioridades educativas se corresponderían con tres dimensiones de la cognición humana: pensar, hablar y hacer (Guidoni, 1985).

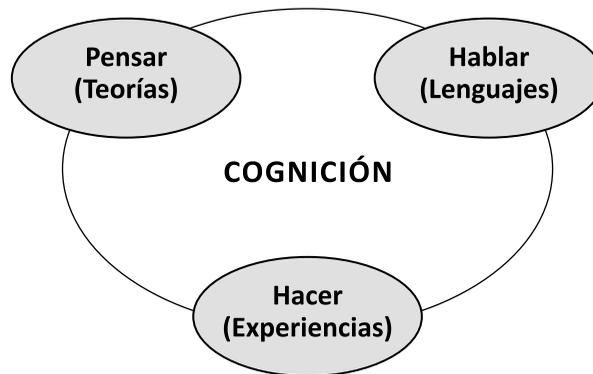


Fig. 1: Las 3 dimensiones de la cognición inspiradas en Guidoni (1985)

Esta manera de mirar, según las dimensiones cognitivas envuelve tres grandes categorías en juego en la investigación científica según la epistemología a saber:

- el saber, pensar (modelos, teorías)
- el hablar, comunicar (diferentes lenguajes: verbal, escrito, multimedios, otros)
- el hacer, actuar, las experiencias, los experimentos

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

sino que para legitimar la autoridad de sus acciones, procedimientos y convicciones. Esto, indudablemente, hace pensar a quienes escuchan una conferencia o leen sobre la ciencia divulgada, que su lenguaje es difícil de entender, construir y por tanto, de enseñar y aprender .

Podemos decir entonces, sin lugar a dudas, que el lenguaje de la ciencia se ha de caracterizar bajo un dominio teórico epistemológico como un instrumento-estrategia para la construcción del conocimiento escolar que requiere de un producto trabajado social y culturalmente por el profesor o didacta. Así, surgen algunas interrogantes como las siguientes:

- ¿Cuáles son los hechos del mundo real más apropiados para que el alumno elabore un modelo teórico a través de las diferentes actividades de aprendizaje, instrumentos de evaluación, imágenes y símbolos formales que presenta la 'ciencia escrita' por ejemplo en un libro de texto?
- ¿Cómo dar un inicio adecuado al pensamiento teórico de los alumnos y saber cuáles son las proposiciones más apropiadas para relacionar los fenómenos del mundo con dichos modelos teóricos en la clase de ciencia haciéndolos evolucionar apropiadamente en la mente de los niños y jóvenes?
- ¿Cuáles son las estrategias de evaluación más adecuadas y coherentes con el modelo de enseñanza de las ciencias escogido, para posibilitar la construcción de esos conceptos haciendo que 'la actividad discursiva' de la ciencia escolar sea un instrumento mediador entre la ciencia de los científicos y la ciencia que enseñamos a todos(as) los(as) jóvenes, atendiendo a la heterogeneidad y diversidad social y cultural de nuestras aulas?

2.2 La re-construcción de un hecho para argumentar en ciencias

Actualmente se reconoce el rol de la argumentación como eje central en la construcción de explicaciones, modelos y teorías, al igual que los científicos utilizan argumentos para relacionar las hipótesis que quieren defender con los datos o puntos de partida iniciales (Siegel, 1995). Por otra parte la enseñanza de la química basada en modelos o diseñada según un proceso de modelización (Izquierdo, M.; Sanmartí, M. y Espinet, M. (1999), utiliza la argumentación como un instrumento indispensable para la construcción de significados a la vez teóricos y prácticos. Sardá y Sanmartí, (2000) entre otros han desarrollado propuestas en esta línea a nivel escolar, con resultados favorables en implementar actividades que propicien la argumentación en clase.

La modelización se concibe como un proceso que tiene lugar cuando los alumnos aprenden a 'dar sentido' a los hechos que observan, construyendo relaciones y explicaciones cada vez más complejas (Justi y Gilbert, 2002). Llevar a cabo una

actividad científica escolar es realizar una actividad en la cual la experimentación, la modelización y la discusión 'reguladora' se entrecruzan para promover una reconstrucción racional de los fenómenos.

La argumentación juega un papel central en la construcción de explicaciones, modelos y teorías (Siegel, 1995; Merino, Izquierdo y Arellano, 2008) ya que los científicos utilizan argumentos para relacionar las hipótesis que quieren defender con los datos o puntos de partida iniciales. La construcción de argumentaciones ha sido considerado un reto para las clases de ciencias en las cuales se construyen significados a la vez teóricos y prácticos y se han hecho propuestas para implementar la argumentación en clase (Sardà y Sanmartí, 2000). En la figura 2, se resume el proceso en el cual a partir de ciertos hechos se extrae una conclusión inicial (de primer nivel). El nodo argumentativo corresponde a las ideas que permiten, "solucionar las dudas" por medio de los contra y los pro que originarían una conclusión con un grado de mayor de robustez.

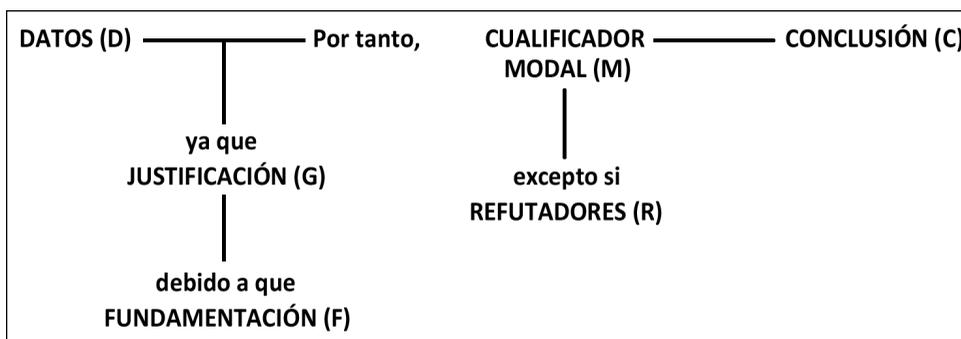


Fig. 2: Esquema para enseñar al alumnado a argumentar científicamente.

2.3 Algunas nociones para hacer una 'buena re-construcción' en la clase de ciencias

Para hacer una 'buena re-construcción' de un 'hecho de vida' que sirva como epitome para iniciar la discusión en el aula, en primer lugar, queremos dirigir nuestra atención a la propia 'Historia de las Ciencias', para no confundir la historia de la ciencia con la propia ciencia que se enseña en diferentes niveles educativos y, diríamos con finalidades similares. La pregunta que nos hacemos es ¿cuáles son las limitaciones que el rigor científico impone a un didactólogo / profesor de ciencias cuando éste se aventura en una disciplina en la cual no se ha formado y que va a utilizar en su beneficio y en el de sus estudiantes?

En lo que proponemos a continuación nos guiamos por las aportaciones de Helge Kragh (1989) sobre la historiografía de las ciencias. La primera cuestión a considerar

en este sentido, es el significado del término historia. Como que en ningún caso es posible la observación directa del pasado ni acceder por completo a lo que fue (tampoco podemos hacerlo por completo con lo que ocurre en nuestra propia época), no existe una historia totalmente objetiva. Kragh llama H1 al conjunto de datos 'en bruto' que se refieren a algo que conocemos imperfectamente y a partir de fuentes diversas que pueden ser combinadas de manera diversa, que han de ser necesariamente interpretados por diferentes públicos y audiencias en determinados contextos de comunicación y aprendizaje. Y llama H2 a esta interpretación teórica del pasado. Por ejemplo, la identificación de 'períodos históricos' (la revolución científica, por ejemplo) es obra de los historiadores, no de la historia. Siguiendo con el ejemplo, podemos destacar que hay dos maneras de organizar la historia de la ciencia: verticalmente, considerando diversos problemas específicos en un mismo período de tiempo, u horizontalmente, analizando la evolución de un 'problema' científico a lo largo del tiempo. O bien, debido a que los objetivos y métodos de organizar los datos recopilados no surgen del pasado, pueden ponerse al servicio de una ideología que puede ser externa (determinar los aspectos institucionales o políticos que se supone determinan el desarrollo científico), interna (dirigiendo la mirada exclusivamente a la comunidad científica) o intrínseca, combinando ambos aspectos según adquieran importancia en el desarrollo de una disciplina concreta. Es fácil ver que se ha de ser cauteloso al tomar cualquiera de estas opciones.

Al afirmar que los datos históricos en bruto aún no son historia sino que se han de interpretar (hay pocos del tipo 'Darwin nació en 1802' y, en todo caso, son poco interesantes), podríamos suponer que no existe nada objetivo en la historia y que por lo tanto 'todas las interpretaciones son posibles'. Esto no es así; hay una 'teoría de la historia' que decide si las fuentes son fiables, si son suficientes y qué interpretaciones son válidas o han de rechazarse; es decir, que puede distinguir entre juicios históricos verdaderos o falsos.

Una de las principales tendencias que puede conducir a juicios históricos erróneos (y así ha sido muy a menudo) es la visión anacrónica del pasado, según la cual éste se estudia y se valida a la luz del presente; su contrapartida, la visión diacrónica, consiste en estudiar la ciencia del pasado de acuerdo a las condiciones que existían realmente en ese pasado. Pero esta diferenciación plantea importantes problemas a los profesores y no es de extrañar que aparezcan tanta 'historias anacrónicas' en los libros de ciencias. El mismo Kragh indica que la historiografía diacrónica estricta es un ideal, puesto que el historiador no puede liberarse de su tiempo ni evitar completamente el empleo de patrones contemporáneos. Es más, una historia estrictamente diacrónica no tendría ningún interés para el profesor y muy poco para el didacta. Sin embargo, es evidente que una historia anacrónica no sólo es falsa, sino que podría utilizarse para sustentar toda clase de retóricas (de progreso

constante de la ciencia, de exclusión o no de las mujeres, de conflictos entre ciencia y religión) en lugar de favorecer una reconstrucción serena y documentada de los datos, y un reconocimiento de la falta de ellos, cuando sea así.

¿Qué hacer, para no presentar el presente como consecuencia directa del pasado pero, a pesar de ello, poder vincular de alguna manera el pasado al presente, en interés de la formación científica de los alumnos? Vamos a ver los diferentes caminos que se han ido tomando para avanzar por este camino tortuoso que va abriendo el profesor /didactólogo por el que avanza de la mano del historiador.

Admitir que una historia positivista no es posible ni tampoco lo es la historia diacrónica estricta, sin valorar suficientemente la teoría de la historia, nos podría llevar a una visión 'presentista' de la misma, según la cual la historia ha de estar forzosamente comprometida con el presente para tener sentido y razón de ser. Al suponer que la historia se justifica sólo si aporta algo al presente se puede caer tanto en el idealismo como en un pragmatismo extremo, como si la historia en sí no tuviera ningún interés y que sólo su reconstrucción (para 'dar vida' a situaciones pretéritas al intentar revivirlas uno mismo) la hiciera interesante. Algo de esto puede haber, si se controla bien.

Bachelard (1993) propuso el término 'historia recurrente' o 'historia sancionada' a una historia del pasado evaluada según los valores de la ciencia actual; es, por lo tanto, una historia que se está escribiendo constantemente, pero sin pretender que el pasado se desarrolló de manera continua hasta llegar al presente. Con ello, da a entender que un historiador de la ciencia no es un historiógrafo de 'hechos', sino un historiógrafo de la verdad. Esto puede llevar a no explicar episodios de la ciencia que han resultado falsos y a distorsionar de manera importante el significado de la actividad científica al vincularla exclusivamente al éxito; o, aún más grave, a mostrar la ciencia como un proceso que avanza sin cesar, dejando de lado las supuestas desviaciones de este paseo triunfal.

2.4 'Hechos de vida' para enseñar a 'decidir' y 'argumentar' en la clase de ciencias

Tomar 'un hecho de vida' para enseñar a 'decidir' y 'argumentar' en clase de ciencias que contemplen la historia de las ciencias, es necesario previamente preguntarnos por ¿Cuál(es) errores resultarían más tentadores? Es fácil darse cuenta de los peligros pero, a la vez, la seducción de estas posturas, que soluciona el problema de limitarse a una historia anticuarista que no interese a los profesores pero que presenta muchos otros problemas; puede parecer, por ejemplo, que los conceptos del pasado tienen relación directa o son los mismos (aunque en una etapa menos desarrollada) que los actuales. Por ejemplo, podemos olvidar que

cuando Harvey imaginó la circulación de la sangre sólo le apoyaron los místicos y alquimistas, mientras que el atomista Gassendi se opuso a ella; haciéndolo así, se pierde la ocasión de comprender bien las relaciones entre las ciencias, la cultura y los valores que condicionan las vidas de las personas en una determinada época (Uribe y Quintanilla, 2005).

Es importante destacar, sin embargo, que los conocimientos actuales permiten analizar conocimientos históricos de una manera que sería imposible desde una postura diacrónica estricta, puesto que se pueden estudiar relaciones entre conocimientos que no se dieron durante la vida de un científico concreto, con lo cual sus ideas conjuntamente con otras, se transformaron y dieron lugar a un 'descubrimiento'; o simplemente hacer ver similitudes entre las obras de científicos de épocas diversas, cosa que hubiera sido imposible en vida de ninguno de ellos. Todo ello da lugar a 'reconstrucciones' que, sin haberse dado en el pasado, constituyen una interpretación seria del mismo de gran interés para la enseñanza de las ciencias.

Así, la historia que se utiliza en DC ha de ser la historia que surge del trabajo de los historiadores, procurando huir del anacronismo y de la hagiografía. Si bien es legítimo que los profesores hablen en clase de los 'héroes' de las disciplinas, deben hacerlo teniendo en cuenta el conjunto de aportaciones científicas en su época; si han de plantear determinadas preguntas y enfoques adecuados a la docencia, se ha de procurar que haya un trabajo historiográfico serio que permita abordarlas. Aparece así un importante ámbito de colaboración entre disciplinas, que es justamente el que deberíamos desarrollar conjuntamente, sabiendo que el didactólogo / profesor no va a ir más allá de lo que permita la historiografía ni el historiador va a ir más allá de lo que le permita la didactología (exigiendo determinados niveles de exactitud histórica en las unidades docentes, por ejemplo, o prohibiendo determinadas preguntas o hipótesis que la historia quizás no puede ni debe responder pero que pueden tener interés docente).

2.5 Hacia una objetivización de la argumentación en el aula

Para promover estos 'hechos de vida', 'históricos y del mundo' en el marco del Curso-Taller de Evaluación de Competencias de Pensamiento Científico (FONDECYT 1095149) se buscó revisar estas ideas entre otras con docentes en ejercicio que participan en el proyecto. El taller contaba con el desarrollo de una Unidad Didáctica cuyo desarrollo fue realizado por el Director del Proyecto y el experto invitado en el marco del proyecto como experto en el área y como evaluador externo. En este taller, se abordaron todas las cuestiones discutidas anteriormente en este capítulo. A continuación se presenta la secuencia de trabajo desarrollada y la correspondiente revisión de las ideas de los docentes sobre la elaboración de

un modelo de evaluación de la competencia argumentativa, cuestión con la que hemos iniciado nuestro debate.

La secuencia y actividades realizadas fueron las siguientes:

- a. **Primer momento:** Para que los docentes lograran 'hacer público' aquello que es 'privado' (Eisner, 1994), se les presentó la controversia entre Pasteur y Pouchet, tal como aparece a continuación.

Heterogénesis de la historia de las ciencias.

Pasteur y Pouchet

París, 7 de abril de 1864, gran anfiteatro de La Sorbona.

Texto histórico, recuperado por Bruno Latour.

«Voy a enseñarles, (señoras y) señores, por dónde han entrado los ratones. [...]»,

«Apaguen todas las luces. Creemos una atmósfera nocturna, que nos envuelva la oscuridad, e iluminemos únicamente estos cuerpecillos, así los contemplaremos como si fuera de noche y estuviéramos contemplando las estrellas. Proyección. Vean, señoras y señores, la cantidad de partículas de polvo que se agitan en este haz luminoso. Enfoque la paja.[...]»

«Recojamos estas partículas en un portaobjetos de vidrio y vean lo que observamos en el microscopio. Monsieur Duboscq, proyecte la micrografía. [...] »

«Ven muchas cosas amorfas. Pero en el centro de estas cosas amorfas, 'percibirán corpúsculos como éstos. Son, (señoras y) señores, gérmenes de seres microscópicos. [...]»

«Para que la prueba a la que voy a someter la superficie de esta cuba de mercurio, sea perfectamente visible, iluminaré únicamente la cuba y espolvorearé sobre ella una cantidad considerable de partículas[el mercurio evita la entrada de aire en la cuba]. Una vez hecho esto, introduzco un objeto cualquiera en el mercurio de la cuba por ejemplo un bastón de vidrio; inmediatamente todas las partículas; avanzan y se dirigen hacia el lugar en el que he introducido el bastón de vidrio y penetran, en el espacio existente entre el vidrio y el mercurio, porque el mercurio no moja el vidrio. [...]»

«¿Qué consecuencia tiene, (señoras y) señores, esta prueba tan sencilla, pero tan crucial para el tema que nos ocupa? No es posible manipular la

cuba de mercurio sin que penetren en el interior del recipiente las partículas de 'polvo que se encuentran en la superficie. Ciertamente es que Pouchet eliminó el polvo mediante gas oxigenado aire artificial; eliminó los gérmenes que podían existir en el agua y en la 'paja; pero lo que no eliminó fueron las partículas de polvo y, por consiguiente, los gérmenes que se encontraban en la superficie del mercurio.

Luces, por favor, [...]»

«Pero, (señoras y) señores, estoy impaciente por pasar a unos experimentos, a unas demostraciones tan sobrecogedoras que despejarán todas las dudas que pudieran tener sobre mis experimentos. Agitación entre el público. Gestos de aprobación. [...]»

«Hemos demostrado hace un momento que Pouchet se equivocó por utilizar una cuba de mercurio en sus primeros experimentos. Suprimamos el uso de la cuba de mercurio pues hemos reconocido que daba lugar a errores inevitables. Observen, (señoras y) señores, esta infusión perfectamente nítida de materia orgánica. Miren la infusión. [...]»

«Ha sido preparada hoy mismo. Mañana ya contendrá animáculos pequeños infusorios o moho. Miren la infusión turbia. [...]»

«Pongo una parte de la infusión de materia orgánica en un recipiente de cuello alargado, como éste. Miren el recipiente. [...]»

«Supongamos que hiervo el líquido y que, a continuación, lo dejo enfriar. Al cabo de unos días, se habrán desarrollado en el líquido mohos o animáculos o infusorios. Al hervir, he destruido los gérmenes existente en el líquido y en la superficie del casco del recipiente. Pero, como la infusión ha entrado de nuevo en contacto con el aire, se altera como todas las infusiones. [...]»

«Ahora supongamos que repito el experimento, pero que antes de hervir el líquido estiro el cuello del balón con un soplete de esmaltador, con objeto de afilarlo, aunque dejando el extremo abierto [...]

«A continuación llevo a ebullición el líquido del balón, y lo dejo enfriar. Ahora bien, el líquido de este segundo balón permanecerá completamente inalterado, no durante dos días, tres o cuatro?, ni durante un mes o un año, sino durante tres o cuatro años. ¿Qué diferencia hay entre estos dos recipientes? [...]»

«Contienen el mismo líquido, ambos contienen aire, los dos están abiertos. ¿Por qué entonces éste se altera y aquél no? La única diferencia, (señoras

y) señores, que existe entre los dos recipientes es la siguiente: en éste (a la izquierda) las partículas de polvo suspendidas en el aire y los gérmenes pueden caer fácilmente en el cuello del recipiente y entrar en contacto con el líquido en el que encontrarán un alimento adecuado y se desarrollarán. Aquí, en cambio (a la derecha), no es posible, o, por lo menos, es muy difícil que las partículas de polvo en suspensión entren en el recipiente. [...]»

«La prueba de que ésta es la verdadera razón es que si agito enérgicamente el recipiente dos o tres veces. Lo agito enérgicamente [...] dentro de dos o tres días contendrá animáculos y moho, ¿Por qué? porque la entrada de aire se ha producido bruscamente y ha arrastrado partículas de polvo. Murmullos de aprobación. [...].»

«Y por consiguiente, (señoras y) señores, también yo podría decir, como Michelet, al mostrarles este líquido: "He tomado de la inmensidad de la creación mi gota de agua, y la he tomado llena de fuerza fecunda y espero, y observo, y la interrogo, y le pido que se sirva reconstruir para mí la primitiva creación; ¡sería un espectáculo tan bueno!" Exclamaciones diversas [...]

¡Pero permanece muda! Permanece muda desde hace muchos años, desde que estos experimentos empezaron. Murmullos [...]

Claro, he alejado de ella y sigo alejando de ella, en este preciso instante, los gérmenes que flotan en el aire, he alejado de ella la vida, pues la vida es el germen y el germen es la vida. Nunca logrará la doctrina de la generación espontánea recuperarse del golpe mortal que le ha asestado este sencillo experimento. Calurosa ovación».

- b. **Segundo momento:** La re-construcción del experimento histórico. Seguido de la revisión del controversial 'hecho', se invita a los docentes participan en la re-creación mental de un experimento histórico.

EL EXPERIMENTO HISTÓRICO:

Un recipiente cerrado, con una solución nutritiva que se ha esterilizado. Cuando el recipiente se abre se hace entrar aire estéril. Puede pasar que:

1. Aparezcan organismos en la solución (se ha vuelto a generar vida al disponer de alimento y de oxígeno).
2. No aparecen organismos, porque siempre proceden de un organismo que ya estaba allí.

- c. **Tercer momento:** La puesta en escena. A continuación se les presento una situación imaginada en la cual se presento la siguiente situación.

ACTIVIDAD IMAGINADA PARA EL AULA CON LOS ALUMNOS

La actividad con los alumnos de consistió en la lectura, en grupo, de dos textos:

En el Texto (A), el experimento de Pasteur se presenta como experimento crucial, sin referencia a la controversia, pero con énfasis en las aportaciones de Pasteur a la medicina.

El Texto (B) refiere la controversia, los experimentos, con énfasis en el ambiente cultural de París.

Un grupo de alumnos leyó el texto A y otro grupo leyó el texto B. Cada grupo resumió en voz alta lo que había leído al otro grupo. Se solicitó más información para comprender mejor lo que había pasado. Finalmente, en pequeños grupos decidieron cuál era la mejor manera de explicar y argumentar esta controversia. ¿Qué es lo que Pasteur está demostrando? ¿Qué intenta argumentar? ¿Cómo lo hace? ¿Cuáles son sus ARGUMENTOS? ¿Para conseguir qué...?. A partir de este análisis se comprende que el conocimiento emerge mediante la experimentación, el diálogo y el consenso social.

- d. **Cuarto momento:** Una vez presentado el hecho histórico y la actividad para los alumnos se les planteó a los docentes una nueva actividad. Que dio paso finalmente a la objetivación de argumentación.

TAREA COLECTIVA CON LOS DOCENTES

¿Cómo enseñaríamos este episodio científico pensando en la Competencia Argumentativa?

1. Identificar y señalar al menos un argumento de modelo teórico de la ciencia que se puede enseñar a través del episodio de Pasteur y Pouchet
2. Identificar y debatir sobre los 4 indicadores evaluativos que permiten objetivar la ARGUMENTACIÓN

- e. **Quinto momento:** La discusión entre los docentes. Los docentes participantes del taller se debatieron entorno a qué criterios se deberían de seleccionar, movilizar para poder objetivar la argumentación. Del debate del grupo emergieron los siguientes indicadores:

INDICADORES / DIMENSIONES DE ARGUMENTACIÓN TRASMITIDOS Y COMPARTIDOS EN EL TALLER "CÓDIGOS"

1. Retorica

- a) Capacidad de persuasión
- b) Cohesión y coherencia textual
- c) Verbalización coherentemente frente al contenido conceptual

1A

1B

1C

2. Modelo Teórico

- a) Uso de lenguaje científico
- b) Fundamenta con evidencia empírica y teórica

2A

2B

3. Lógica

- a) Plantea preguntas frente al problema
- b) Responde coherentemente
- c) Articula la ideas que expone de manera lógica y jerárquica

3A

3B

3C

4. Pragmática

- a) Argumentación situada en el contexto
- b) Identificación con el rol asignando

4A

4B

- f. **Sexto Momento:** La reconstrucción del hecho y la validación de los criterios levantados. A modo contraste, se sometieron a prueba los criterios levantados con un argumento del hecho científico.

DESDE EL MODELO DE LA GENERACIÓN ESPONTÁNEA (ARGUMENTO): "LA VIDA CRECERÍA SI EL AIRE SE CONTAMINÓ"

Indicadores:

1. Usa un lenguaje científico, claro y coherente (verbaliza) (X1)
2. Muestra evidencia científica pertinente (modelo de Pasteur) (X2)
3. Es convincente en su argumentación (X3)
4. Síntesis: sintetiza la información en un minuto (X4)

Registro docente: 02 2010

- g. **Séptimo momento:** Lectura del ejercicio, tomando el registro docente 022010 leemos los criterios propuestos por el docente en clave de la objetivación levantada anteriormente.

Indicadores:	1A	1B	1C	2A	2B	3A	3B	3C	4A	4B
Interpretación / Lectura:			X3*			X1		X2		X4*

- h. **Octavo Momento:** Análisis y evaluación de la competencia argumentativa en ciencias con los docentes. Para los docentes a modo de prioridad organizativa en la objetivación de la argumentación como una competencia de pensamiento científico, las dimensiones serían las siguientes:

i. Dimensión Modelo Teórico (MT)

- a. Es esencial discutir la variable 'contaminación el aire' como factor precursor en el experimento de Pasteur. Bajo esta misma dimensión su intencionalidad evaluativa estaría en que también el estudiante emplea la terminología científica. No obstante, no se menciona qué términos debiese emplear el estudiante para valorar su argumento como completo, medianamente completo o en desarrollo.
- b. Es importante la fundamentación teórica frente al contenido científico con evidencia empírica. No obstante no se menciona qué evidencia debiese señalar el estudiante en torno al modelo para considerar su argumento como completo, medianamente completo o en desarrollo.

ii. Dimensión Retórica (R)

- a. La segunda dimensión relevante hace referencia a la retórica que debe de tener el estudiante. Aquí se aborda esta idea desde la perspectiva que el estudiante ha de tener una capacidad de persuasión tal a la que en sus palabras se aborda como 'ser convincente' en sus argumentos'

iii. Dimensión Lógica (L)

- a. La tercera y última dimensión importante es la dimensión lógica. Creemos que se hace referencia a que el argumento del estudiante ha de tener una estructura lógica y jerárquica; no obstante en sus palabras esta manera se traduciría en el tiempo que el estudiante logra exponer sus ideas según los códigos tradicionales de la ciencia.

iv. Dimensión Pragmática (P)

- a. La cuarta dimensión a la que se hace referencia es la dimensión pragmática, aun cuando no se especifican o quedan postergados sus indicadores en este ejercicio preliminar.

2.6 Próximos avances etapa II del proyecto

La vinculación entre teoría-práctica, discutida en líneas superiores, surge del proceso argumentativo que se produce en la figura 1, en la cual se guían los significados específicos de la intervención experimental, de los lenguajes específicos y de las entidades conceptuales que los forman. La relación Lenguaje-Experimento-Representación puede contener varios significados. Es decir un pedazo del mundo real puede ser representado por varias clases de evidencia, de ideas, de lenguajes... de argumentos.

Pero los argumentos sin evidencias y sin un contexto no tienen sentido. Desde esta perspectiva la 'ambientación' de un hecho histórico, un hecho de vida nos permite aunar y proporcionar abono a la actividad discursiva e intelectual de la enseñanza de las ciencias en la escuela.

En consecuencia continuamos trabajando estas ideas para proporcionar los ejemplos suficientes para que él o la docente logre hacer la 'traducción' de estos indicadores para objetivar la argumentación como una competencia.

En estos momentos los docentes han seleccionado sólo el indicador 'coherencia en la retórica' proporcionando niveles de acuerdo al desarrollo de la estructura sintáctica (básico-uno o dos conectores; intermedio-tres conectores; avanzado-

cuatro conectores y finalmente superior-cuatro o más). Desde esta perspectiva cada nivel sintonizaría con un plano de análisis (Labarrere, 2002 y Quintanilla, 2006):

- 1) Instrumental,
- 2) instrumental-personal,
- 3) instrumental-personal-cultural,
- 4) instrumental-personal-cultural,
- 5) todos. No obstante estas ideas aún están en desarrollo.

Finalmente, creemos que proporcionar una dimensión temporal en la clase de ciencias contribuye a que la ciencia en la escuela pueda ser considerada una actividad humana sujeta a decisiones y a valores....a problemas que debe resolver y argumentarse de manera diversa. Ello ayudaría a que los alumnos comprendan la evolución de sus conocimientos. Esa será la próxima etapa, y el gran desafío de nuestro proyecto para el período 2010-2011.

Referencias bibliográficas

- Bachelard, G.** (1993). La formación del espíritu científico. Ed. Siglo XXI: Madrid.
- Boulter, C. y Gilbert, J.** (1995). Argument and science education. In: P. J. M. Costello & S. Mitchell (Eds.), *Competing and consensual voices: The theory and practice of argumentation*. (pp.84–98). Clevedon, UK: Multilingual Matters.
- Bordieu, P.** (2003) *El oficio del científico*, Anagrama, Barcelona.
- Brown, A. L. y Campione, J. C.** (1990). Communities of learning and thinking, or a context by any other name. In D. Kuhn (Ed.), *Developmental perspectives on teaching and learning thinking skills*. *Contribution to Human Development*, 21, 108–126.
- Driver, R., Newton, P. y Osborne, J.** (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287–312.
- Duschl, R. y Osborne, J.** (2002). Supporting and promoting argumentation discourse. *Studies in Science Education*, 38, 39–72.
- Eisner, E.** (1994). *Formas de representación, Cognición y currículum*, 65-92. Buenos Aires: Amorrortu.
- Erduran, S. y Jiménez-Aleixandre, M.P.** (ed.) (2009). *Argumentation in Science Education*. Springer: London.
- Erduran, S., Ardac, D., y Yakmaci-Guzel, B.** (2006). Learning to teach argumentation: Case Studies of preservice secondary science teachers. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 2(2), 1–14.
- Giere, R.** (1988). *Explaining Science. A cognitive approach*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Guidoni, P.** (1985). On Natural Thinking. *International Journal of Science Education*, 7 (2), 133- 140.
- Habermas, J.** (1981). *The Theory of Communicative Action*. Boston, MA: Beacon Press.

- Izquierdo, M.** (2004). Un nuevo enfoque para la enseñanza de la química. Contextualizar y modelizar. *The Journal of Argentine Chemicals Society*, 92(4/6), 115-136.
- Izquierdo, M.** (2002). Fundamentos epistemológicos. En Perales, F. y Cañal, P (ed.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Marfil.
- Izquierdo, M., Vallverdú, J., Quintanilla, M. y Merino, C.** (2006). Relación entre la historia y la filosofía de la ciencias II. *Alambique*, 48, 78-91.
- Izquierdo, M., Sanmartí, N. y Espinet, M.** (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (1), 45-59.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Bugallo Rodríguez, A., y Duschl, R. A.** (2000). "Doing the lesson" or "doing science": Argument in high school genetics. *Science Education*, 84(6), 757-792.
- Justi, R. y Gilbert, J.** (2002). Models and Modelling in Chemical Education, en J. Gilbert *et al.* (ed), 'Chemical Education: Towards Research-based Practice', (pp. 47- 68). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Kelly, G. J., & Takao, A.** (2002). Epistemic levels in argument: An analysis of university oceanography students' use of evidence in writing. *Science Education*, 86(3), 314-342.
- Knorr-Cetina, K.** (1999). *Epistemic cultures: How the sciences make knowledge*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kragh, H.** (1989). *Introducción a la historia de la ciencias*. Ed. Crítica: Barcelona.
- Kuhn, D.** (1991). *The skills of argument*. New York: Cambridge University Press.
- Kuhn, D.** (1992). Thinking as argument. *Harvard Educational Review*, 62, 155-178.
- Kuhn, D.** (1993). Science as argument: Implications for teaching and learning scientific thinking. *Science Education*, 77, 319-337.
- Labarrere, A. & Quintanilla, M.** (2006). La evaluación de los profesores de ciencia desde la profesionalidad emergente. Cap. 12. En: *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y propuestas*. Editorial UC, 2006, 342 pp, ISBN: 956-14-0865-1.
- Latour, B. y Woolgar, S.** (1986). *Laboratory life: The construction of scientific facts*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Leach, J., Hind, A. y Ryder, J.** (2003). Designing and evaluating short teaching interventions about the epistemology of science in high school classrooms. *Science Education*, 87(3), 831-848.

- Merino, C., Izquierdo, I. y Arellano, M.** (2008). Argumentation, an Essentials component of the modeling process in chemistry: an approach. *Journal of Education Thought*, 42 (2), 207-228.
- Norris, S. P., y Philips, L. M.** (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science Education*, 87, 224–240
- Quintanilla, M.** (2006a). La ciencia en la escuela: un saber fascinante para aprender a 'leer el mundo'. *Revista Pensamiento Educativo*, 39 (2), 177-204.
- Quintanilla, M.** (2006b). Identificación, caracterización y evaluación de competencias científicas en el aula desde una imagen naturalizada de la ciencia. En Quintanilla y Adúriz-Bravo (eds.) *Enseñar Ciencias en el nuevo milenio. Desafíos y propuestas.* (pp. 17-42). Ediciones PUC: Santiago de Chile.
- Sanmartí, N.** (2002). *Didáctica de las Ciencias en la ESO. Síntesis:* Madrid.
- Sardà, A. y Sanmartí, N.** (2000). Enseñar a argumentar científicamente: un reto de las clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 2000, 18 (3), 405-422
- Siegel, H.** (2006). Epistemological diversity and education research: Much ado about nothing much? *Educational Researcher*, 35(2), 3–12.
- Siegel, H.** (1995). Why should educators care about argumentation? *Informal Logic*, 17(2), 159–176.
- Toulmin, S.** (1958). *The uses of argument.* Cambridge: Cambridge University Press
- Uribe, M. y Quintanilla, M.** (2005). Aplicación del modelo de Toulmin a la evolución del concepto de sangre en la historia de la ciencia. *Perspectivas didácticas. Actas del VII Congreso Intenacional de Enseñanza de las Ciencias*, Granada, España.
- Vygotsky, L. S.** (1978). *Mind in society. The development of higher psychological processes.* Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Wertsch, J.** (1991). *Voices of the mind: A sociocultural approach to mediated action.* Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Zohar, A., & Nemet, F.** (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), 35–62.
- Quintanilla, M.** (2013). Informe FONDECYT período 2011-2013, Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONYCIT), Santiago de Chile, 2011.



Capítulo 3

Uso de la Historia de la Química como dispositivo teórico y praxiológico para promover Competencias de Pensamiento Científico

Mario Quintanilla, Núria Solsona, Álvaro García, María Álvarez

Contenido

- *Introducción*
 - *La historia de la química construida no es la química enseñada*
 - *¿Qué competencias de pensamiento científico? ¿Para qué finalidades?*
 - *¿Cómo puede contribuir la introducción de los debates histórico-científicos a la consecución de competencias científicas?*
 - *Una propuesta didáctica basada en los átomos de Dalton y la química del siglo XVIII*
- *‘La o las historias’ de la química como fuentes para el debate didáctico y la promoción de CPC*
 - *La noción naturalizada de la química como ciencia experimental*
 - *Alambiques, fórmulas y cultura de símbolos ¿favorecen el desarrollo de CPC?*
 - *El peligro de una historia de la química ‘hagiográfica’ ‘no comprensible’*
 - *¿Qué historia de la química es la más apropiada a estas ‘nuevas finalidades’ que promueven CPC en la clase de química?*
 - *¿Para qué divulgar y enseñar a aprender historia de la química?*
 - *¿Cómo enseñar y aprender historia de la química para ‘nuevas finalidades educativas’?*
 - *Comprender la historia de la química como ‘actividad profundamente humana’*
 - *El modelo de Toulmin aplicado a la noción científica de ‘Ley Periódica’*
 - *Controversias y posibilidades para una ‘nueva historia de la química’ (NHQ)*
 - *Referencias bibliográficas*

3.1 Introducción

El conocimiento científico se ha ido construyendo a través de los siglos de manera transcultural, sobre cimientos que han estado determinados (y muchas veces condicionados) por la coexistencia y simultaneidad de múltiples creencias, conflictos de poder, resabios mitológicos, influencias religiosas, crisis políticas y disputas axiológicas³. De la misma manera, las diferentes fuentes de información, los instrumentos científicos, los lenguajes característicos y las estrategias de comunicación, que han orientado la divulgación y la enseñanza de la ciencia, han sido muy diversas en causas, atributos y consecuencias en momentos y épocas también muy distintas de la historia humana. Estas afirmaciones pudieran resultar paradójicas y un tanto crípticas, puesto que no encajan en el paradigma dominante en la mayoría de comunidades científicas, adscritas al positivismo, ni en la visión de la ciencia y su historia que se transmite en los manuales de enseñanza de las ciencias.

Por otra parte, tal como indican Álvarez Lires *et al.* (2013):

*La dificultad de los sistemas educativos para responder a una nueva situación "derivada de las características de la sociedad actual (globalización, desarrollo de las TIC, crecimiento acelerado del conocimiento, su rápida obsolescencia y los cambios en el perfil de las profesiones)" que permita adaptarse al cambio constante, interesarse en el aprendizaje durante toda la vida, moverse con seguridad en niveles interdisciplinarios, trabajar en equipo, planificar, decidir, etc., provocó el nacimiento de un modelo vinculado al desarrollo de competencias que implica cambios profundos (Izquierdo *et al.*, 2009; Gil y Vilches, 2008): las competencias se convierten en logros de aprendizaje, en lugar de adquisición de conocimientos, y afectan a objetivos, papel del profesorado, actividades de enseñanza y a la evaluación (Bolívar, 2009).*

Inmediatamente surge la pregunta: ¿qué ciencia enseñar? (Ravanal *et al.*, 2009). Afirman al respecto, que la ciencia en la escuela, debe favorecer que el alumnado pueda participar activamente de las cosas del mundo, además de promover un espacio diverso y rico de diálogos, debate, cuestionamiento y posibilidades de cambio y reestructuración de ideas, así como el surgimiento de otras nuevas. Por su parte, Pujol (2008) indica que optar por un modelo de *ciencia escolar* significa que se ha de dejar de pensar en «temas» y estudiar fenómenos concretos que permitan múltiples formas de interpretarlos, hacerse preguntas y buscar nuevos datos, así como organizar las clases en torno a contextos comunes para compartir

3 Utilizaremos este término en el sentido de referente a "valores", tomándolo de Echeverría (1995).

vivencias y experiencias, construir conocimientos colaborativamente, comprender los fenómenos y determinar acciones para construir modelos de interpretación cada vez más complejos.

Coincidimos con Izquierdo *et al.* (2004a) en que la ciencia actual es una construcción de conocimiento que incorpora la complejidad y se realiza desde un marco de valores y, por tanto, las finalidades de la *ciencia escolar* se han de abordar desde la complejidad como una actividad para la construcción significativa de nuevas maneras de pensar, hablar, sentir y actuar que permitan explicar y transformar el mundo (Izquierdo, 2001). Se debe construir un pensamiento complejo, plantear un conocimiento en el que razón y emoción sean elementos complementarios y ahondar en el significado de una *ciencia escolar* que eduque para la acción (Izquierdo *et al.*, 2004a).

A la luz de lo expuesto anteriormente, cabe preguntarse ¿Qué sentido tiene entonces incorporar la historia de la química como un componente metateórico relevante para promover competencias de pensamiento científico? ¿Cómo puede contribuir esta metaciencia a mejorar la calidad de la formación profesional del profesorado de ciencias en general y de química en particular? Esas son las preguntas sobre las que quisiéramos reflexionar en este capítulo.

3.2 La historia de la química construida no es la química enseñada

En las últimas décadas, la idea de *historicidad* de la química admite interpretaciones encontradas en los análisis meta científicos: algunas de ellas intentan explicar la evolución del conocimiento de esta disciplina desde una mirada reduccionista que valora la objetividad⁴ del dato mismo o *visión anacrónica*; otras interpretaciones quisieran generar modelos explicativos de las teorías de la ciencia, que surgen de la valoración de la época y el contexto en que dicho conocimiento se ‘socializó’ e influyó en el desarrollo cultural de una comunidad científica determinada o *visión diacrónica*⁵. Esta última forma de comprender la historia de la química, valiosa a nuestro juicio para el profesorado de ciencias naturales, genera planteamientos que distinguen de manera sustancial entre los llamados *hechos del pasado* y los *hechos históricos* tal como lo han planteado diversos investigadores (Hildgatner, 1990; Kragh, 1990; Quintanilla, 2011). Recoger el dato objetivable e interpretarlo sin comprender el sentido que tienen la época, las expectativas sociales, políticas y eco-

4 Se entiende la *objetividad* en este contexto en el sentido irrestricto del positivismo lógico, toda vez que objeto de conocimiento y sujeto involucrado en conocer dicho objeto son independientes entre sí.

5 Desarrollaremos más adelante estas ideas.

nómicas o, tanto más, los valores en disputa que condicionaron los descubrimientos e invenciones científicas, todos estos elementos que también forman parte del llamado 'dato histórico', contribuyen a una interpretación restrictiva del desarrollo del conocimiento y la actividad científica que, según muchos autores, no sería la más adecuada para la educación científica en general y la enseñanza de la química en particular (Echeverría, 2002; Matthews, 1994; Izquierdo *et al.*, 2007).

Si partimos de esta última visión, habrá que concluir que la historia de la química puede promover una mejor comprensión de las nociones y métodos científicos; los enfoques históricos conectan y evalúan el desarrollo del pensamiento individual y colectivo con el desarrollo de las ideas científicas en un momento particular o la consolidación de los pactos metateóricos de la comunidad; la historia de la química es necesaria y útil para comprender la naturaleza de la ciencia, cuestiona el cientificismo y dogmatismo que es común encontrar en nuestras clases y textos habituales de enseñanza de la química. Al examinar la vida y época de personas que se dedicaron a la ciencia, la historia de la química humaniza los contenidos propios de la ciencia, haciéndola más cercana al estudiantado y a la sociedad en general. Finalmente, la historia de la química nos permite conectar la ciencia específica con tópicos y temas propios de cada disciplina y también conectar con otros saberes eruditos, integrando la natural interdependencia del conocimiento humano de una manera compleja, heurística y a la vez, más valiosa de enseñar y aprender (Quintanilla, 2011).

Para Nieto (2007), una de las debilidades que resultan más evidentes de la historia de la ciencia, ha sido su notable dependencia a lo largo del siglo XX del discurso y de los intereses de las comunidades científicas profesionales. Este investigador catalán señala al respecto:

Desde su papel legitimador de la profesionalización de la ciencia heredado del positivismo del siglo XIX, a su función más o menos balsámica en el mundo académico posterior a la Segunda Guerra Mundial, la historia de la ciencia ha buscado, entre los científicos de las hard sciences, el núcleo de su audiencia potencial. Así, han proliferado las historias disciplinarias: de la física, la química, las matemáticas, la biología, la medicina, la tecnología, o de materias aún más específicas como la geología, la astronomía, la veterinaria, la enfermería, etc. Éstas, a menudo, proporcionan visiones sesgadas del pasado al servicio de los intereses de un determinado grupo profesional y refuerzan lo que algunos autores han llamado procesos de comunicación científica dominantes o hegemónicos (Nieto, 2007).

En las últimas décadas, diversos estudios han insistido en señalar que la perspectiva del análisis histórico se halla ausente de la enseñanza de la química en particular y de la formación científica y docente en general. Por otra parte, los estudios de 'las ciencias' validadas y legitimadas socialmente⁶ (desde la historia, la didáctica, la filosofía, la sociología, etc.,) han desdibujado progresivamente las *fronteras clásicas* entre la llamada *ciencia de los eruditos* y la sociedad receptora de la misma o *ciencia de profanos*; de manera que para muchos, las estrategias habituales de los miembros de las comunidades científicas, para ganarse audiencias nuevas y legitimar así su prestigio y su poder, son factores inequívocos de la propia práctica científica cotidiana. Así, las llamadas 'nuevas teorías de la química', sus experimentos o sus máquinas se validan a través de complejas redes sociales constituidas por los grandes expertos de la investigación básica o por aquellos 'visitantes anónimos' de un museo de ciencia en una ciudad periférica de alguno de nuestros países, por poner un ejemplo de sobra conocido. De esta manera, queda en evidencia que el profesorado de química, y también un número no despreciable de divulgadores, transmiten en los medios de comunicación masiva una imagen de ciencia reduccionista y restrictiva alejada de los contextos culturales, sociales o políticos, en que químicos y químicas han contribuido al desarrollo sistemático, permanente y continuo del conocimiento en diferentes épocas y contextos⁷ (Echeverría, 2002; Shapin & Barnes, 1977; Kragh, 1987).

Como consecuencia de lo anterior, se puede predecir en gran medida que los diferentes públicos de la ciencia, estudiantes, profesorado, personal experto y lego, poseen una visión deformada de la naturaleza de la química, su objeto científico y métodos de investigación, así como de la construcción y evolución de los conocimientos científicos, ignorando sus diversas repercusiones sociales y axiológicas, lo que en algunas ocasiones, sino en la mayoría, produce una actitud de rechazo hacia las materias científicas propias de la química, dificultando su comprensión y aprendizaje. Esto último se acentúa cuando se procura solamente axiomatizar el lenguaje científico de la química⁸ a través, casi en exclusiva, de la 'cultura de los signos o de los símbolos' que requiere, además, un proceso de valoración e interpretación compleja y contextualizada de las teorías, los instrumentos y los fenómenos que se estudian (García-Martínez & Quintanilla, 2005). Si como comunidad científica estamos de acuerdo en que la química es un proceso de constitución del saber erudito con dimensiones no sólo históricas, sino también sociales,

6 En términos de Bordieu, la valoración en términos de legitimación que hace la 'comunidad científica'.

7 Son de interés inequívoco los análisis históricos y propuestas educativas que al respecto elabora la Dra. Nuria Solsona en sus obras *Mujeres Científicas de todos los tiempos* y *El saber científico de las Mujeres*.

8 Se desdibuja así la idea de 'símbolo' o 'cultura de la fórmula' que opera sin una visión retórica del lenguaje de la ciencia en este contexto de producción de conocimiento.

axiológicas, políticas y culturales resulta entonces altamente relevante valorar la incorporación de la historia de la química en los procesos de formación inicial y continua del profesorado de ciencias y también del colectivo científico, puesto que permite relacionar el andamiaje teórico-conceptual que se constituye en un 'momento particular de la historia humana' y el 'problema científico' que se intenta solucionar con las teorías y los instrumentos disponibles en ese momento en la comunidad científica. En este sentido, agrega Nieto (2007):

Desde este punto de vista, son los propios científicos profesionales, altamente especializados y con una débil formación humanística –volvemos a Snow– los que en el fondo deciden qué contenidos de su propia disciplina (y también qué contenidos históricos) se deben transmitir a las nuevas generaciones a través de la educación, y al público en general a través de la divulgación (de ahí el título del famoso artículo de Stephen Hillgartner (1990) 'The dominant view of popularisation'). En ese contexto, así como élites reducidas de expertos decidirían los contenidos de un libro de texto, por ejemplo, de física, esos mismos intelectuales orgánicos (en términos de Gramsci) decidirían la imagen que damos a los estudiantes y a los públicos en general sobre el pasado de la ciencia. El resultado sería, y es en buena parte imaginable: volvemos al papel de envoltorio, a esa historia de la ciencia decorativa al servicio de unos determinados intereses profesionales, así como, demasiado a menudo, la historia política, social o económica se ha puesto al servicio de determinados intereses inconfesables del poder de turno (Nieto, 2007).

3.3 ¿Qué competencias de pensamiento científico? ¿Para qué finalidades?

La enseñanza de competencias científicas comporta facilitar la capacidad de transferir unos aprendizajes, es decir un conjunto de conocimientos organizados en función de la lógica de las disciplinas académicas para dar respuesta a situaciones o necesidades reales. Y así poner las bases del desarrollo del pensamiento teórico sobre los fenómenos químicos a partir de las ideas, experiencias y vivencias de la persona que aprende.

Las implicaciones sociales de la química a lo largo de la historia están presentes en la vida de las y los estudiantes. Ante ello, se puede optar por una química que desarrolle competencias científicas estrictamente académicas, alejadas de la vida de las personas o asumir que la química que se ha desarrollado en escenarios no académicos también debe formar parte de la historia.

Ser competente no es sólo ser hábil en la ejecución de tareas y actividades concretas, tal como han sido enseñadas, sino, a partir de las habilidades adquiridas, ser

capaz de afrontar nuevas tareas o retos que vayan más allá de lo aprendido. Las competencias científicas en el marco de la ciencia escolar suponen el desarrollo de la capacidad de utilizar conocimientos y habilidades científicas, de manera transversal e interactiva, en contextos y situaciones que intervengan diferentes saberes, para identificar preguntas y obtener conclusiones a partir de pruebas, con la finalidad de comprender y ayudar a tomar decisiones sobre el mundo natural y los cambios que la actividad humana produce. Esto supone que no se puede separar el desarrollo de las competencias en contenidos disciplinares de las competencias en contenidos transversales, vinculando diferentes disciplinas, siguiendo el modelo que hace tiempo usan en Finlandia. Para desarrollar las competencias científicas se requieren tres capacidades: Identificar problemas científicos susceptibles de ser investigados científicamente, explicar fenómenos científicamente y utilizar pruebas científicas. Entre las “subcompetencias” científicas se destacan la identificación de las entidades e ideas científicas, aprender a hacerse preguntas, disponer de estrategias de resolución de problemas, buscar las fuentes de información para responderlas, buscar información en Internet de forma eficiente, contrastada y más allá del *google*, seleccionar la información según unos objetivos y elaborarla adecuadamente, fomentar el pensamiento libre basado en la construcción de criterios propios contrastables para formar personas creativas, investigadoras, emprendedoras, que sepan comunicar sus ideas y compartirlas con las demás personas (Quintanilla, 2006).

El lenguaje es el instrumento mediador por excelencia en el aprendizaje de las ciencias. El conocimiento se estructura y evoluciona con la actividad de hablar y escribir. De alguna forma, la actividad científica es necesariamente también una actividad lingüística, de forma que la lengua y el lenguaje en los procesos de aprendizaje es uno de los elementos de interés sostenido por la didáctica de las ciencias. Enseñar y aprender es un proceso de comunicación verbal y no verbal entre las personas que intervienen en un acto educativo. Por ello, la promoción de las competencias comunicativas es fundamental en el aprendizaje científico y las competencias científicas y las comunicativas se integran en la práctica docente, aunque a efectos de investigación se analicen por separado.

La alfabetización científica implica la alfabetización lingüística y digital. Las competencias comunicativas son fundamentales en la sociedad llamada de *la información y el lenguaje* es fundamental en el aprendizaje científico, mediante el diálogo y la discusión en clase y los textos escritos. Destacamos entre las distintas habilidades cognitivo-lingüísticas: describir, definir, explicar, comparar, argumentar, etc. La habilidad cognitivo-lingüística de “explicar” consiste en producir razones o argumentos y establecer relaciones especialmente de causa. En muchas actividades científicas, la tesis inicial a explicar está implícita en la actividad; por ejemplo, “La combustión” en la que se justifiquen los cambios mediante los conceptos

científicos. La elaboración de una primera tesis durante la realización del ejercicio queda desmenuzada y será explicada por una serie de principios y relaciones entre conceptos que la persona que aprende tendrá que ir ordenando paso a paso. A lo largo de la explicación, siempre hay dos proposiciones relacionadas entre sí, de modo que una de ellas hace aparecer como verosímil la otra, a una persona interlocutora cualquiera.

El objetivo de usar textos históricos en clase u otras fuentes historiográficas es el de construir una imagen más robusta de la ciencia como actividad profundamente humana. La lectura simultánea de textos científicos históricos, de forma crítica y reflexiva y su interpretación, y de textos históricos de divulgación científica, permite desarrollar la habilidad para poder identificar la diversidad de fuentes que hay detrás de cada texto, contribuyendo así a discernir entre el alud de información pseudohistórica que circula en publicaciones y en la Red, a utilizar diferentes códigos, a convertir gráficas o imágenes en texto, y a trasladar la lectura o análisis de un texto histórico a una gráfica. Además es relevante el uso de actividades que incluyan situaciones de lectura y escritura de experimentos de laboratorio. Por ejemplo, la comprensión del significado de un texto histórico escrito o la lectura comprensiva de un procedimiento experimental histórico, a partir del contexto.

Para fomentar y ampliar las competencias lectoras, relativas a la comprensión de un documento científico histórico, hay que reconocer la idea principal del texto, el significado de las palabras desconocidas, la progresión del texto y analizarlo críticamente. Además de la lectura comprensiva de textos históricos, puede ser útil el uso de cuestionarios, la elaboración de textos científicos propios, a partir de las distintas fuentes históricas textuales, materiales y gráficas. Dado que el lenguaje es un sistema de recursos para construir significados, las competencias científicas y lectoras están interrelacionadas de forma que la identificación y reconocimiento de conceptos científicos, la interpretación de un fenómeno y del modelo científico histórico utilizado para interpretarlo muchas veces están implícitos en la comprensión de un texto histórico. Por ejemplo, en el caso de los textos alquímicos, la necesidad de correlacionar entidades alquímicas históricas y entidades químicas actuales viene condicionada por el conocimiento previo del lenguaje alquímico. Por ello, destacamos la "subcompetencia" de identificación de criterios de calidad de las actividades de lectura, escritura y realización de experimentos de laboratorio para promover la capacidad de reconocer, usar y evaluar pruebas en la construcción, uso y revisión de modelos científicos.

El análisis de los distintos componentes de una competencia determinada nos permite apreciar cómo buena parte de ellos tienen apoyo en algún saber científico, pero para su conocimiento no son suficientes los aportes de esta disciplina, sino que son necesarios otros saberes que dependen al mismo tiempo de dos o más

disciplinas. En el otro extremo, hay componentes de la competencia, como es el caso de *la utilización de criterios responsables en el análisis de textos científicos históricos*. En general, hay componentes de las competencias que son claramente metadisciplinarias o que se comparten entre dos o más disciplinas (interdisciplinarias), como es el caso de la idea de *valoración e intervención en la sociedad*.

El trabajo con competencias de pensamiento científico debe incluir los tres tipos de saberes que definen cualquier acción competencial: el saber hacer, el saber y el saber estar y ser. El trabajo en el aula y la programación por competencias son complejos, pero las experiencias previas disponibles en educación científica ilustran el camino a seguir en las clases de ciencias y facilitan puntos de anclaje para avanzar. En los trabajos desarrollados desde una perspectiva de innovación educativa, para introducir textos históricos en el currículo científico y de tecnología interrelacionan el saber, el saber hacer y el saber ser. En el conocimiento escolar, el saber se identifica con la lógica de los conceptos que establece relaciones de implicación entre ellos y permite una conceptualización atemporal. Frente al saber hacer, que se corresponde con la lógica de la acción, que favorece el establecimiento de relaciones de causalidad y la conceptualización en contexto, uno de los factores que varias investigaciones han detectado se correlaciona con el aprendizaje significativo. Por último, el saber ser se considera un aprendizaje indispensable para el perfil de ciudadanía que exige la sociedad actual (Quintanilla, 2006b).

Los tres tipos de saberes se potencian e interaccionan entre sí. Por ejemplo, el saber declarativo asociado a “coloide” que habitualmente tiene poca presencia en la química escolar más académica adquiere más importancia al introducir el «saber hacer» de las experiencias culinarias.

Las secuencias de aprendizaje interrelacionan el saber con el «saber hacer», ya que consideran la actividad escolar como base del aprendizaje. Algunos ejemplos del saber deseable son: sustancias, energía, enlace químico, sustancias puras, disoluciones, coloides, cambios químicos, reactivo, producto, conservación de la masa, teoría atómica, etc. El «saber hacer» se refiere por ejemplo a la confección de gráficos, informes de laboratorio, a la resolución de problemas, a la realización de experimentos escolares, la elaboración de informes científicos, la utilización de instrumentos como un microscopio u otros instrumentos del laboratorio escolar de forma correcta, la observación de las normas de seguridad, la confección de mapas conceptuales y otros instrumentos de evaluación, etc. Y el «saber ser» está en relación con el desarrollo de la responsabilidad, la empatía, la combinación de las necesidades individuales y colectivas, la actitud participativa y responsable, afectuosa y de colaboración en los trabajos colectivos, el respeto y la comprensión hacia las experiencias, opiniones y vivencias de las otras personas, entre otros.

Todas las actividades de aprendizaje son multicompetenciales y deben cumplir el requisito de estar ligada a la formación en todos los ámbitos de desarrollo personal. Por ello, entre las competencias de pensamiento científico, hay que tener en cuenta las competencias comunicativas, si la comunicación es el eje del proceso de aprendizaje científico. Por ello, la competencia específica de conocimiento e interacción con el mundo físico debe ir acompañada de la utilización de valores asociados al trabajo científico y al desarrollo tecnológico. En el ámbito de las competencias científicas se propone aprender a pensar y a comunicar las propias ideas. Esto relacionado con el uso de la historia de la ciencia en el aula comporta promover la importancia de no menospreciar o ridiculizar las ideas y explicaciones científicas de otra época. Aprender a no aplicar a temas históricos los mismos criterios de análisis que se usan para entender la ciencia actual, es decir, en lugar de despreciar una teoría obsoleta, hay que pensar que ha abierto un camino hacia otra teoría hoy aceptada por la comunidad científica. También incluye el fomento del uso de textos históricos de diferentes fuentes: Internet, documentales, libros y revistas de divulgación científica y prensa.

Por último, desde la perspectiva de la ciencia escolar, la Competencia Científica de Autonomía e iniciativa personal, entendida como capacidad de aprendizaje continuado, es estratégicamente prioritaria. Por ejemplo, a menudo, la persona que no está familiarizada con la lectura de textos históricos científicos muestra su desconcierto porque no sabe interpretar el significado de las entidades científicas históricas, ni compararlas con las entidades o conceptos equivalentes que forman parte de los modelos teóricos actuales. Ante ello, es importante fomentar la competencia de aprender a aprender de manera eficiente a partir de la expresión y comunicación de las propias ideas referidas a la lectura histórica. Así mismo, englobamos en esta competencia el fomento del placer para el aprendizaje científico y la capacidad de emoción con la actividad científica, fundamental en algunos sectores de personas que se inician en el aprendizaje científico y para mejorar las tasas de éxito escolar científico. También se incluye en la competencia de aprender a aprender la adquisición de la conciencia de las propias capacidades, estrategias científicas y recursos intelectuales y físicos.

3.4 ¿Cómo puede contribuir la introducción de los debates histórico-científicos a la consecución de competencias científicas?

Al llegar a este punto, cabría preguntarse de qué manera puede contribuir el debate histórico científico, del que se ofrecerá un posible ejemplo, a la promoción de competencias científicas en la clase de química. La respuesta no es sencilla ni unívoca, porque depende del hecho o proceso que se pretende analizar, del estado actual de los conocimientos sobre él, de la época histórica y de los paradigmas

científicos bajo los que se desarrolló o a los que desafió, del conocimiento histórico y epistemológico que se precisa para su interpretación, de las concepciones previas del grupo de estudiantes y de un largo etcétera. En este sentido, se han de observar ciertas cautelas a la hora de establecer qué debates se pueden seleccionar, para qué fin didáctico, cuál puede ser la profundidad del análisis que se va a realizar o cómo poner de manifiesto los modelos científicos que subyacen al debate.

Si admitimos que los objetivos de una disciplina científica no pueden ser los mismos que los de su enseñanza –puesto que el alumnado no es un colectivo científico pero se pretende que desarrolle competencias científicas– se han de mostrar fenómenos para su descripción, interpretación y predicción, mediante un proceso de experimentación, modelización y adquisición de los lenguajes correspondientes (Álvarez Lires, 2006). De esta manera, estaremos enseñando a pensar, hablar y hacer ciencia y, por lo tanto, contribuyendo a desarrollar competencias científicas. Un modo de hacerlo es someter textos y debates histórico-científicos al análisis por parte del alumnado, pero ¿cómo hacerlo? ¿Cuál puede ser el marco del que se ha de partir para ello? Permítansenos algunas consideraciones al respecto.

La didáctica de las ciencias se ocupa de estos problemas y existen en la actualidad buen número de líneas de investigación, entre las que cabe destacar la corriente constructivista y, dentro de ella, la de las ciencias cognitivas (Giere, 1992). Esta dedica especial atención a la utilización de modelos en la enseñanza de las ciencias, aspecto que nos parece de crucial importancia, siempre que se tenga en cuenta la diferente complejidad con la que se deben abordar los problemas o fenómenos según el nivel educativo al que nos dirijamos y se elijan los hechos, analogías y relaciones más adecuadas para que el alumnado elabore un modelo que le permita una aproximación al pensamiento teórico y a la interpretación de los fenómenos (Izquierdo, 1997).

En tal sentido, la introducción de la historia de la química en la enseñanza de las ciencias puede contribuir a adquirir conocimientos, motivar al alumnado, mostrarle los aspectos más humanísticos de esta ciencia, desarrollar competencias científicas y avanzar en la disminución del fracaso escolar (Izquierdo, 1997; Quintanilla *et al.*, 2005; Masson & Vázquez-Abad, 2006; Pérez-Rodríguez *et al.*, 2009a, 2009b; Álvarez Lires *et al.*, 2013; Quintanilla, 2011).

Dicha introducción tiene un doble interés según Audigier y Fillon (1991), Krahg (1990), Fauque (1998), Álvarez-Lires *et al.* (2013): didáctico y cultural.

Didáctico	Cultural
<ul style="list-style-type: none"> • Hacer surgir las representaciones del alumnado, concientizarle de su insuficiencia para explicar hechos experimentales y mostrarle como algunas se parecen a las primeras explicaciones científicas. • Poner de manifiesto la forma en que se reorganiza el pensamiento; el conocimiento no se construye acumulativamente, sino a través de reorganizaciones sucesivas. • Ilustrar la idea de que la construcción del conocimiento responde a preguntas y problemas. • Reflexionar sobre las disciplinas y los instrumentos intelectuales que elaboran para pensar la realidad como leyes, teorías, modelos o conceptos. • Mostrar la diferencia entre argumentación científica y opinión. • Reflexionar sobre la naturaleza del conocimiento científico, ejerciendo una función crítica y antidogmática. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mostrar la ciencia y la técnica como construcciones humanas y sociales. • Oponerse a la idea de ciencia desinteresada/conocimiento frente a técnica, que deriva de ella y sirve a intereses económicos. • Poner de manifiesto la influencia de factores políticos, económicos y culturales, atravesados por el género, en la construcción y producción de ciencia y tecnología. • Discutir la idea de que la teoría es verdad absoluta y sigue a la experiencia, mostrando las dudas, los debates, los errores, la crítica y la reelaboración de las teorías científicas. • Considerar las implicaciones éticas de esta reflexión. • Examinar su posible papel de nexo de unión entre las "dos culturas" de Snow tradicionalmente separadas: la de las ciencias experimentales y la de las humanidades y ciencias sociales.

Si como indican Sanmartí e Izquierdo (2001), para que la actividad científica escolar sirva para aprender es necesario –entre otras consideraciones– suscitar preguntas y promover observaciones y experimentos que tengan sentido para quien aprende y que sirvan al alumnado para poner a prueba sus ideas, así como para generar otras nuevas, el modelo didáctico de utilización de la historia de la química que se proponga no puede tener nada que ver con la mayor parte de las referencias a aspectos histórico-científicos que aparecen en los materiales didácticos de uso generalizado (los libros de texto). En palabras de Nieto (2007), estas referencias se corresponden únicamente a “una historia de la ciencia apromblemática, ideal para conmemoraciones, aniversarios y pequeñas introducciones sobre los antecedentes ‘correctos’ de cada lección en los libros de texto”.

La construcción del conocimiento a lo largo del tiempo es un proceso complejo y multidisciplinario, con avances, retrocesos y múltiples desarrollos paralelos –cada uno con sus propias peculiaridades– altamente dependiente de los contextos en

los que se produce y con muchas y muchos más protagonistas de lo que se piensa o se representa (Pérez Rodríguez *et al.*, 2008, 2009). En este sentido, está claro que no se puede mostrar al alumnado toda la información histórico-científica que sería necesaria para abordar en profundidad los contenidos que se pretende abordar; es necesario, por lo tanto, llevar a cabo una transposición didáctica. La simplificación de modelos subyacentes a los debates científicos puede y debe hacerse, pero ello no debe implicar presentar los modelos de modo simplista o incorrecto.

Teniendo en cuenta lo anteriormente dicho, la introducción de debates histórico científicos permite desarrollar habilidades y competencias cognitivo-lingüísticas, que son necesarias para hacer evolucionar las operaciones mentales que se manifiestan a través del lenguaje (Jorba *et al.*, 1998). Permite también, cuestionar una enseñanza de la química organizada, casi en exclusiva, alrededor de presentación de resultados, de conceptos ya construidos, de símbolos y algoritmos, al trabajar sobre los debates que están en el origen de los saberes, que responden a problemas planteados en su momento o a preguntas sobre fenómenos que se interpretaron de manera diferente durante un largo proceso, mostrando que la química no surgió *ex nihilo*.

El análisis de los debates histórico-científicos permite abrir una reflexión sobre la disciplina, en este caso sobre la química, y sobre los instrumentos didácticos intelectuales elaborados por las comunidades científicas para pensar, para explicar la realidad, como leyes, teorías, modelos o conceptos, mostrando que no se han construido de manera acumulativa, sino que su significado y uso son producto de reorganizaciones sucesivas.

Asimismo, como se indica en este mismo capítulo, la presentación y al análisis de los debates puede servir para detectar obstáculos conceptuales (Piaget y García, 1994) inspirándose en lo que se sabe de los obstáculos epistemológicos históricos. Por su parte, Saxeidecker & Laporte (1998) indican que esta utilización debe hacerse con prudencia, ya que pueden surgir otros obstáculos diferentes, no previstos; porque obviamente las circunstancias de hoy no son las mismas del período o acontecimiento histórico-científico estudiado. De todas maneras, es innegable el papel que tal enseñanza puede desempeñar en la toma de conciencia, por parte del alumnado, de los obstáculos conceptuales que debe superar, contribuyendo mediante la acción docente a la reorganización de su pensamiento.

La historia de la química puede ser un medio para reflexionar sobre la química como una construcción humana, mostrando que las teorías científicas son productos históricos, que se pusieron en cuestión, se reelaboraron y estuvieron sometidas a crítica a lo largo de la historia. Es preciso señalar, también, la importancia y el interés de los debates, de las controversias y de los conflictos de diverso tipo puestos en juego en la producción de las teorías científicas, así como destacar la importancia

de las dudas y de los errores para avanzar en el conocimiento científico. El error adquiere así otro significado, pues ya no es solamente el alumnado quien incurre en él, sino que a las grandes figuras de la ciencia les había sucedido antes. Esta circunstancia puede contribuir a reforzar la autoestima del alumnado (Fauque, 1998).

A través de los debates pueden surgir las representaciones del alumnado, a partir del análisis de un texto o de la interpretación de una experiencia histórico-científica. Posteriormente, se puede mostrar que estas representaciones espontáneas son insuficientes para explicar los hechos experimentales o mostrar el paralelismo entre dichas representaciones y explicaciones dadas en otros tiempos por las comunidades científicas. Es posible servirse de ellas para diseñar futuras intervenciones didácticas.

Por otra parte, concordamos con Izquierdo (1997, 2001) en que:

[...] durante el largo proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias conviene ser conscientes de que lo que se enseña en los centros universitarios tendrá repercusiones en la propia disciplina y de que la enseñanza en los centros de secundaria y las metodologías empleadas tendrán influencia en la enseñanza universitaria. Piénsese en que el profesorado debe impartir unos conocimientos que no solo han de informar sobre el contenido de la disciplina, sino que los debe situar en un contexto sociocultural, ha de delimitar el ámbito de la disciplina y mostrar los métodos de investigación propios de ella.

Somos conscientes de la dificultad que entraña el enfoque esbozado para la mayoría del profesorado que no se ha formado en este campo. Además, nada más lejos de nuestra intención que demostrar que todo es ventajoso á hora de introducir la historia de la química en la enseñanza, puesto que se plantean problemas didácticos; como la aparición de nuevos obstáculos conceptuales, la dificultad de convivir con la duda y la incertidumbre o la elección entre diferentes enfoques historiográfico-didácticos que existen. Pero creemos firmemente que si se consigue articular los objetivos didácticos y culturales, la historia de la química puede contribuir a motivar al alumnado por su estudio y a una reflexión sobre ella como iniciación a la cultura científica y técnica. Trabajar sobre las condiciones de elaboración del saber puede ayudar a elaborar unas representaciones más abiertas de las disciplinas escolares y de los saberes científicos (Izquierdo y Sanmartí, 1997).

3.5 Una propuesta didáctica basada en los átomos de Dalton y la química del siglo XVIII

Veamos un ejemplo, por cierto siempre incompleto e inacabado en su descripción y análisis, a propósito de la vida de John Dalton y la historia de la teoría atómica⁹. La primera conferencia sobre temas de química, que impartió Dalton, está fechada, según sus historiadores, en Kendal, Inglaterra en 1791. Para entonces, el ya célebre y no menos arrogante Lavoisier había leído ante sus camaradas de la Academia de Ciencias de París una memoria *sobre la naturaleza del agua y la imposibilidad de convertirse en tierra* (1770), en esta época ha rechazado de manera convincente la *teoría del flogisto* (1781-1783) y ha generalizado por casi toda Francia la *ley de conservación de la masa* (1789). Por su parte, los químicos ingleses, lejos del continente, han desarrollado fuertemente la química neumática, impulsándose así la química cuantitativa a la que Dalton se dedicará preferentemente durante la mayor parte de su vida. Por su parte, en Alemania, los químicos guiados por Wenzel (1740-1793) analizan la composición de varias sales cuyos datos finalmente son tabulados y organizados expresándose las cantidades de ácido, base y agua utilizada en la formación de cada una de ellas. Sin embargo, estos datos no resultaban de gran exactitud para los químicos de la época debido, fundamentalmente, a la carencia de instrumentos de precisión. Así y todo, el químico Richter (1762-1807) proponía una interpretación matemática de la química a la luz de regularidades entre las proporciones de combinación de las diferentes sustancias, cuyos estudios serán la base de la estequiometría moderna. Es ya el otoño de 1792, las ideas de la Revolución francesa comienzan a expandirse por una Europa ilustrada *ad- portas* del nuevo siglo y, en su Inglaterra monárquica, Dalton continua investigando sobre el comportamiento de los gases, desarrollando magistralmente la idea de que la *tendencia de los fluidos elásticos*, a través de otros, se produce básicamente debido a una supuesta repulsión entre dichas partículas al existir una atmósfera de calor diferente alrededor de cada fluido. El interés de Dalton, según Pellón (2003), en la solubilidad de los gases no está en 'el proceso químico', sino en el *mecanismo* por el que los gases se disuelven, para lo cual su idea es calcular así los pesos relativos de las *partículas últimas* de los diferentes gases. Después de múltiples ensayos, aciertos, errores y anotaciones que fue rectificando y completando paulatinamente en el desarrollo de sus ideas, en su cuaderno¹⁰ de notas de 1803 escribió, entre otras, las siguientes ideas:

9 Para profundizar en el ejemplo y notas afines desde este análisis epistemológico se puede revisar *La enseñanza del modelo atómico de John Dalton desde una visión naturalizada de la historia de la química*. En: Quintanilla, M. (2007).

10 Muchos de los cuadernos de notas e instrumentos de Dalton se perdieron durante el bombardeo a Manchester por las tropas nazis, la noche del 23 al 24 de diciembre de 1940: Un análisis centrado en la Historia de la química y la formación de profesores se cita en *Historia y Filosofía de la Química*, ed. Siglo XXI. Chamizo, 2011.

- i. *La materia está formada por pequeñas partículas últimas o átomos.*¹¹
- ii. *Los átomos son indivisibles y no pueden ser creados ni destruidos.*
- iii. *Los átomos de diferentes elementos tienen diferentes masas.*
- iv. *Todos los átomos de un elemento dado son idénticos y tienen la misma masa invariable.*
- v. *La masa de la partícula de un compuesto es la suma de sus átomos constituyentes.*
- vi. *La partícula de un compuesto está formada por un número fijo de átomos.*

Las afirmaciones anteriores son completadas por Dalton en septiembre y octubre de 1803, y no se modificarán más en sus ensayos y conferencias posteriores. Vemos entonces que la *teoría atómica* propuesta inicialmente por John Dalton en 1803, paulatinamente comunicada y resignificada a través de sus diferentes conferencias públicas y ensayos personales, puede considerarse un desarrollo natural de los *estudios sobre gases y el trabajo en análisis químico cuantitativo* realizado en el período de transición del siglo XVIII al XIX. Como plantea Aragón (2004 citado por Pellón, 2003), esta teoría era la única posible para explicar las relaciones entre las reacciones químicas con los instrumentos y técnicas experimentales disponibles; pero originó problemas de interpretación en la comunidad científica en relación con la determinación de los pesos atómicos debido a que las fórmulas eran, por lo general, muy indeterminadas, como se puede hacer notar en el caso del agua. Tales relaciones con la comparación de las densidades y ley de los volúmenes reaccionantes de Guy Lussac (1778 - 1850) pudieron ser muy útiles pero con frecuencia eran mal interpretadas y, como consecuencia, rechazadas por las diferentes *audiencias*. Por la misma época, lejos de las influencias de Dalton, Amadeo Avogadro (1776 - 1856) y Andrés María Ámpere (1775 -1836) mostraban como las relaciones de los volúmenes gaseosos podían ser interpretadas de forma correcta, pero fracasaron al intentar convencer a líderes de la naciente química moderna, tales como el gran Berzelius (1779 - 1848). Berzelius, al igual que Davy (1778 - 1829) inspirado en la obra de Alessandro Volta (1745 - 1827) reconoció la importancia de la Teoría Atómica de Dalton más que cualquier otro químico. Sus estudios analíticos y de *gran rigor científico para la época* sobre los pesos de los elementos que se combinan para formar compuestos eran muy sólidos y a partir de ellos obtenía los pesos atómicos de los elementos con aceptable éxito. Su sistema de sistematización de los símbolos de los elementos era

11 Palabra que utiliza por primera vez, puesto que en su ensayo y conferencia de 1802 habló de 'partículas últimas'.

potente y constituye la base de los símbolos modernos de la Química actual¹². Aunque llegó a ser una gran autoridad en la química de su tiempo, con frecuencia era ambiguo y confundía a sus 'audiencias'. Durante varias décadas la Teoría Atómica de John Dalton no fue suficientemente clarificada como para llegar a un concepto unificador de la Química. Por aquella época otro insigne científico británico, William Proust (1785-1850), basándose en la obra de Dalton, sugirió que los pesos atómicos de todos los elementos eran múltiplos exactos del peso atómico de hidrógeno, con lo cual implicaba que los elementos más pesados que el hidrógeno podían estar formados por este elemento. Pero este es tema de otro análisis histórico.

¿Qué nos deja este breve recuento de la vida y época del químico inglés Dalton? Como lo hemos argumentado en otros artículos (Izquierdo *et al.*, 2007) es importante que el personal docente de química conozca la historia y filosofía de las ciencias y se inspiren en ellas para comunicar su desarrollo de la mejor manera posible a sus estudiantes, con quienes tendremos mucha cautela, dirigiendo nuestra atención y finalidades a la propia 'Historia de las Ciencias', para no confundir la historia de la química con la propia química que se enseña. La pregunta que nos hemos hecho y seguiremos haciéndonos es ¿cuáles son las limitaciones que el rigor científico impone a una persona que enseña química cuando se aventura en una disciplina en la cual no se ha formado y que va a utilizar en su beneficio? (Izquierdo *et al.*, 2007).

3.6 'La o las historias' de la química como fuentes para el debate didáctico y la promoción de CPC

Admitir que una historia positivista de la química no es posible ni tampoco lo es la historia diacrónica estricta, sin valorar suficientemente *la teoría de la historia*, nos podría llevar a una visión '*presentista*' de la misma, según la cual la historia ha de estar *forzosamente comprometida* con el presente para tener sentido y valor. Al suponer que la historia de la química, en particular, se justifica sólo si aporta algo al presente se puede caer tanto en el *idealismo* como en un *pragmatismo* extremo. Tanto en un caso como en el otro se supone que la historia de la química en sí, no tiene ningún interés y que sólo su reconstrucción (que será probablemente subjetiva, para 'dar vida' a situaciones pretéritas al intentar revivirlas) la hace interesante y valiosa (Izquierdo *et al.*, 2007).

12 Berzelius llevó a cabo una serie de experimentos para medir las proporciones en que se combinaban los distintos elementos entre sí y, en 1816, había llegado a estudiar 2000 compuestos diferentes (Gribbin, 2005, pp 306).

Hemos señalado en otros estudios que Bachelard (1993 citado por Izquierdo *et al.*, 2007) propuso el término 'historia recurrente' o 'historia sancionada' para referirse a una historia del pasado evaluada según los valores de la ciencia actual; si lo aplicamos a la historia de la química sería, por lo tanto, *una historia que se está escribiendo constantemente*, pero sin pretender explicar que el 'pasado científico' se desarrolló de manera continua hasta llegar al presente tal y cual lo vemos hoy. Con ello, Bachelard da a entender que hacer historia de la ciencia no es hacer una historiografía de 'hechos', sino una historiografía *de la verdad*. Sin embargo, esto puede llevar a no explicar episodios de la ciencia en general y de la química en particular, que han resultado erróneos o insuficientes 'con los ojos de hoy y de ayer', y a distorsionar de manera importante el significado de la actividad científica en la docencia al vincularla exclusivamente al éxito; o, aún más grave, a mostrar la ciencia como un proceso que avanza sin cesar, dejando de lado las supuestas desviaciones de este paseo triunfal (Izquierdo *et al.*, 2007). No hay 'una verdad', sino 'verdades'. Por ejemplo, si bien el modelo atómico de Bohr fue un eslabón histórico muy importante para el desarrollo de la mecánica cuántica, pronto comenzó a mostrar inconsistencias teóricas cuando se aplicó, entre 1913 y 1925, a átomos multielectrónicos y a moléculas. La formulación de la mecánica cuántica a fines de la década de 1920, de la mano de Schrödinger, Heisenberg, Bohr y von Neumann, entre otros, no solo modificó sustancialmente la concepción de los electrones en el átomo orbitando alrededor del núcleo en trayectorias definidas (Labarca & Quintanilla, 2013) según los diferentes modelos atómicos vigentes en aquel momento, sino que conmovió la visión newtoniana del mundo admitida por la física e incluso por la química, al establecer la imposibilidad de conocer al mismo tiempo y con igual precisión la posición y el *momentum* de una partícula.

A este respecto, es preciso señalar que a pesar de los innegables éxitos empíricos de la mecánica cuántica y de los años transcurridos desde su formulación, su interpretación dista mucho de haber alcanzado un consenso generalizado en la comunidad científica física y filosófica, pues, si bien se recurre a la llamada "Interpretación de Copenhague" como visión oficial, ésta constituye una especie de paraguas bajo el que se cobija un conjunto de posiciones diferentes y a menudo contradictorias. Esta somera incursión por el proceloso océano de la mecánica cuántica, que solamente hemos esbozado, muestra claramente la convivencia de la ciencia con la duda, la incertidumbre, así como con las visiones plurales y no dogmáticas acerca de su construcción, producción e incluso de su interpretación.

Volviendo al texto titulado átomos de Dalton y la química del siglo XVIII, se pueden adelantar diferentes procesos para el mejoramiento de competencias científicas en el alumnado, durante el desarrollo de las clases de química; a continuación presentamos un pequeño ejemplo de cómo hacerlo. Para esto nos centraremos en una parte de éste: la química neumática como base para el desarrollo de la química

cuantitativa a la que Dalton dedicó muchos años de su vida, específicamente en los planteamientos sobre el papel del estudio de los gases, es decir, el papel del estado gaseoso en el desarrollo de la química. En este sentido, se pueden estudiar dos interrogantes iniciales: ¿Qué implicaciones, para el desarrollo de la química como ciencia, se habrían generado si no se hubiera avanzado en el estudio de los gases?, ¿Qué relación existe entre el estudio de los gases y el desarrollo del concepto de cambio químico?, eje teórico de la Química y base para el trabajo experimental, y por supuesto para el propio Dalton. Este tipo de problemas puede plantearse en el aula de clase con el propósito de permitir espacios en donde se comiencen a estudiar ciertas variables que aparentemente no tienen relación, pero que luego se verá que son la base para la comprensión del cambio químico. Para abordarlos, se puede presentar el estudio de una reacción química en donde el alumnado debe comprobar la ley de la conservación de la masa y donde, al menos, uno de los productos sea un gas (reacción del ácido sulfúrico y el carbonato de calcio, por ejemplo). En un comienzo el grupo de estudiantes plantea sus ideas sobre la importancia que ve en los gases, en donde usualmente no se reconoce el papel que tuvieron. Al enfrentarse al problema, tendrán que analizar las variables y formular las respectivas hipótesis, contribuyéndose de esta manera al desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo; propondrán las condiciones particulares para el diseño y puesta en marcha de su experimento, especificando la forma de estudiar y controlar las variables establecidas. El diseño del trabajo experimental es de vital importancia en el desarrollo del aprendizaje, en la medida en que les enseña a planear con rigurosidad sus acciones y reflexionar por qué y cómo llevarlas a cabo. Cuando se enfrentan a estas reacciones químicas, deben analizar el cómo recolectar los productos generados, con la dificultad adicional que uno de ellos es un gas, ante lo cual se les plantea la situación, sobre cómo se trabajaba en la química del siglo XVIII, qué tipo de instrumentos empleaban para tal fin; surgiendo así el análisis del papel del experimento y del instrumento en la generación del conocimiento químico (y en general en la ciencia). Frente a este tipo de problemas, los estudiantes irán generando explicaciones sobre la forma de controlar cada una de estas situaciones y propondrán modelos de instrumentos diferentes de recolectar, con precisión, los gases generados. Una vez recolectados los productos procederán a analizar los datos a la luz de la conservación de la masa, estudiando sus diseños propuestos y la eficiencia de estos, contrastando sus hipótesis planteadas; en este proceso desarrollarán argumentaciones de distintos niveles y grados de complejidad; así, poco a poco irán creando diferentes tipos de textos (descriptivo, explicativos y argumentativos, entre otros) evidenciando los aprendizajes generados. El desarrollo de este tipo de problemas permite al grupo de estudiantes enfrentarse a situaciones reales que la ciencia tuvo que resolver, que no fue un camino lineal sino con diversidad de posibilidades, posibilitando el contraste de sus modelos con los del siglo XVIII y comparando, incluso, las

decisiones tomadas por las comunidades científicas o individualmente. Al analizar el proceso y los resultados, evidenciarán las dificultades que tendrían sino hubieran recolectado los gases con exactitud, el no poderlos identificar y menos cuantificar, relacionando todo esto cada vez más, con los procesos desarrollados durante el siglo XVIII y XIX y su relevancia para los estudios de Dalton, y como hemos mencionado, para la teoría atómica misma.

Este tipo de situaciones permite que las y los estudiantes comprendan como las interpretaciones que se dieron en esos siglos no eran, necesariamente, erróneas, sino que, en muchos casos, fueron el producto de la cultura de esa época, pues las condiciones sociales, políticas y técnicas influyeron para que esos procesos se dieran de esa forma, y que entiendan que también actualmente existe una serie de factores que condicionan y proyectan el avance de la ciencia. Estas "historias de la ciencia" pueden también ser punto de partida para procesos de formación docente tanto en su etapa inicial como para quienes están ejerciendo (García Martínez, 2009).

3.7 La noción naturalizada de la química como ciencia experimental

Así y todo, para dar una respuesta racional y razonable, coherente en este sentido con una historia de la química 'compleja, heurística e interesante', la hipótesis que sustentamos es que hemos de plantear el origen histórico, controversial y polémico de las principales teorías de la química, mostrar el proceso de creación, disputa y desarrollo de las principales nociones y metodologías científicas, como fruto de un trabajo colectivo y de una construcción humana, en la que hay intrigas, tensiones y distensiones; y analizar así la complejidad de las relaciones ciencia – tecnología – sociedad – comunicación (CTSC) a lo largo de la historia, con las diversas implicaciones de transformación de los procesos políticos, sociales y de convivencia que ello ha generado para la comunidad científica en general y para la comunidad de los químicos en particular (Christie, 1990; Izquierdo *et al.*, 2006).

Esta idea de formación y enseñanza de la química desde una orientación de ciudadanía y valores, permite *releer* y comprender permanentemente marcos teóricos diversos para interpretar fenómenos científicos que *hoy comprendemos bien* y que se explican mediante teorías vigentes (por ejemplo la teoría cuántica a la que se hacía alusión en los párrafos anteriores), las cuales continúan evolucionando vertiginosamente, pero además nos permite conocer la relación entre la ciencia y la cultura de una época específica, analizando de esta forma la influencia de éstas en el desarrollo y consolidación de una sociedad determinada que comparte unos valores que se resignifican sistemáticamente (Barona, 1994;

Quintanilla, 2007; Solsona, 1997). Ello se conoce como *visión realista pragmática o naturalizada de la ciencia*; veamos brevemente que significa ello.

La química sería, en esta definición, *una actividad humana más*, que contribuye a la génesis, desarrollo, divulgación, consolidación y transformación del conocimiento científico. Esta orientación, cognitiva en su naturaleza, fundamenta su *modelo teórico* en el carácter dinámico y permanente del conocimiento científico. Así, la interpretación y explicación de la química como ciencia eminentemente experimental, ha de contribuir a la convergencia analítica y comprensiva (no ingenua) de los conceptos que históricamente han estado en 'tensión': *el descubrimiento y la justificación del hecho científico* que se ha venido analizando desde hace una década en otras publicaciones (Quintanilla, 1999). La ciencia cognitiva cuestiona así la filosofía clásica, por configurar ideales acerca de la ciencia con los cuales los 'químicos de verdad' no trabajan y en consecuencia, con los que no se sienten identificados. Toman así distancia de la filosofía y de la sociología de la ciencia tradicional, intentando establecer una disciplina sin otra finalidad que la de explicar la ciencia como construcción humana en permanente cambio (Izquierdo, 2000).

Desde esta mirada epistemológica, para las concepciones *realistas pragmáticas o naturalistas* 'no ingenuas' de la ciencia, las teorías científicas describen 'razonablemente' como es realmente el mundo. Esto significa que en el mismo, 'hay cosas o entidades', que se pueden caracterizar generalmente por sus propiedades específicas, estructura y función: sustancias, elementos, animales, vegetales, tipos de energía, etc, es decir, según este principio las teorías en química son descripciones verdaderas de lo que pasa en el mundo real. Como insistiremos en más de una ocasión, nos parece que es una postura mucho más estimulante para el análisis e interpretación de los hechos y de las teorías científicas. Su principal dificultad es que dos teorías en química pueden dar explicaciones o interpretaciones equivalentes de un fenómeno (ejemplo Bronsted y Lowry vs Arrhenius y su explicación de la Teoría ácido-base), provocando la duda de cuál de las dos interpretaciones es 'más real'. En este sentido, Chalmers (1993) plantea lo que llama el *realismo no representativo*, asumiendo que las teorías científicas tienen determinadas finalidades y representan ciertos aspectos particulares del mundo y no otros. En consecuencia, al incorporar la historia de la química en la enseñanza y la divulgación, *debiéramos entender que en el desarrollo del conocimiento no siempre se pensó lo mismo acerca de lo que ahora pensamos*, aunque disponemos 'metafóricamente' (o por analogía) de instrumentos y métodos científicos similares para comprenderlos 'con los ojos de ayer y de hoy'.

En su famoso *explaining science*, Ronald Giere (1988) afirma que la selección de teorías científicas se realiza normalmente mediante un proceso complejo de elaboración intelectual que incluye la interacción social, cultural y el juicio personal de quien lo analiza. Se plantea así la *racionalidad química como instrumental* en

tanto cuanto se puede manifestar en diversos grados dependiendo del contexto y las variables que se estudien específicamente. Las leyes 'en química', desde esta perspectiva, no serían entonces, generalizaciones empíricas bien confirmadas, sino que dependerían del juicio científico personal y del contexto cultural en el que se analizan. Se opone así a la concepción clásica de *racionalidad categórica* del positivismo lógico, que no admite la valoración del juicio científico en la toma de decisiones. En consecuencia, en una *concepción naturalista de la ciencia* existe una constante aproximación a la verdad, que es parte de la esencia misma de la actividad científica y de sus pactos metodológicos, como actividad humana y por lo tanto de su 'natural' evolución histórica. Esto significa, en buenas cuentas, que la relación entre un *modelo teórico de la química y el mundo real* es compleja, ya que el modelo teórico es un objeto formal y no es, él mismo, una constatación o declaración; la relación que presenta el modelo con el mundo, al cual refiere, no puede ser una 'relación de verdad'. Lo importante sería entonces, determinar si el modelo *se ajusta* a los sistemas correspondientes en el mundo real y hasta qué punto es *similar* a ellos (Giere, 1992). El ajuste no sería global, sino sólo relativo a aquellos aspectos del mundo que los modelos intentan capturar inicialmente. Por lo que, la relación entre lo declarado y el mundo es indirecta, y estaría dada a través del modelo teórico específico (Giere, 1994).

3.8 Alambiques, fórmulas y cultura de símbolos ¿favorecen el desarrollo de CPC?

Actualmente se pretende que toda la población, al menos en los niveles obligatorios de la enseñanza, se forme en química, pero, paradójicamente, el alumnado huye de ella, como lo demuestran múltiples estudios internacionales. Cuando se le pregunta a estudiantes de los primeros cursos de la enseñanza secundaria, ¿qué es para ti la química?, un alto porcentaje del grupo cuestionado responde sin dudar: formulación, y si continuamos avanzando en los niveles educativos, responden: fórmulas, problemas, estequiometría, tabla periódica, electrones, átomos u orbitales; casi nunca hacen referencia a aspectos experimentales y mucho menos a explicación de fenómenos de la vida real. Así, pues, para una inmensa mayoría de la población estudiantil, la química se relaciona con una especie de ciencia oscura e incomprensible, repleta de símbolos, que ni siquiera se acerca a la química de alambiques. El resultado es que la odia y se aleja de ella, porque ¿para qué le sirve la química? Es más, en el imaginario de estudiantes con un buen expediente académico, "la física explica el mundo"; más allá de la discusión del significado que dan a esta respuesta y de lo adecuado o inadecuado de ella, lo cierto es que la referencia a "explicación de..." no aparece en el imaginario discente, como tampoco aparecen respuestas que hagan referencia a investigar fenómenos o a hacerse preguntas sobre ellos. Siguiendo a Izquierdo (2004b), diremos que:

Se debería empezar por generar experiencia química en alumnas y alumnos, para que, a partir de ella, puedan formular preguntas; sin ellas, las explicaciones no tendrían sentido puesto que no se pueden avanzar respuestas (químicas) a preguntas que aún no se han planteado. Las buenas preguntas son las que generan respuestas argumentadas que utilizan la Teoría Química y, a la vez, conectan con la experiencia.

Si como hemos venido diciendo, la ciencia ha de servir para aprender a pensar, a hacer y a comunicarse, ello no puede hacerse a través de lenguajes incomprensibles (una cosa es que el lenguaje de la química sea especializado y otra muy diferente es que sea oscuro y sin más finalidad que la de aprenderlo de modo repetitivo). Si, además, las teorías se aprenden de modo declarativo, sin comprender su significado, ni su evolución, ni su poder explicativo y aunque se realice algún experimento, si éste no tiene conexión con la explicación de fenómenos, no responde a preguntas, ni sirve para comunicarse correctamente desde un punto de vista lingüístico y científico, nada de lo “aprendido” resulta coherente ni significativo: teoría, experiencia y lenguaje. Pensemos, por ejemplo, en que el lenguaje de la química es muy distinto del que utiliza el alumnado en la vida cotidiana y ni los átomos ni los electrones ni los orbitales se ven (como diría un empirista *avant la lettre*); se le está obligando, casi, a realizar un acto de fe.

Así, nos damos cuenta, entonces, de que la química de alambiques y fórmulas (construida y enseñada) se ha ido justificando a lo largo de la historia humana con argumentos epistemológicos que no son simples de analizar y que revisten trayectorias de escuelas de pensamiento, corrientes imperantes y maneras de comprender el mundo, considerando además las experiencias del sujeto que aprende en situaciones intencionadas de su propia cultura y aprendizaje. En general, la química que se ‘enseña’ se hace de manera ahistórica, que por su tradición configura así un estereotipo en el que se prima la supuesta objetividad, racionalidad, exactitud, precisión y formalización matemática del conocimiento; como si los conceptos y fenómenos científicos se generaran de manera invariable en el tiempo, es decir, carentes de la argumentación y complejidad histórica de su génesis, construcción y evolución (Quintanilla, 2006). Para nadie resulta desconocido que nuestra cultura tecnocientífica, en términos de Echeverría (1995), cambiaron de manera espectacular en las últimas décadas del siglo XX. Hoy forma parte cada vez más importante de los proyectos educativos, culturales y de divulgación (museos de ciencia, revistas, programas televisivos como el *History Channel*), y constituye un elemento irreducible de las agendas políticas de los diferentes organismos que deciden el destino de nuestros Estados. Asumir entonces la incorporación de la historia de la química en la enseñanza y en la formación docente y científica (inicial y continua), permite delimitar un amplio espacio de libertad para el profesorado (y también para quienes se dedican a la

química) que diseña, aplica y evalúa el currículo, las actividades, las estrategias y los medios de transmisión y comprensión del saber erudito, puesto que le permite explorar de manera naturalista, y no normativa, la validez de las relaciones entre los modelos teóricos y los fenómenos y entre ambos y la complejidad del lenguaje científico (Izquierdo *et al.*, 2006; 2009).

Los modelos cognitivos de ciencia son *modelos de racionalidad moderada*, llamados también de *racionalismo moderado o racionalismo contextualizado o hipotético*, que se encuentra como fundamento a la propuesta didáctica constructivista. Desde luego, no podemos desconocer la importancia del componente teórico en la enseñanza de la química, puesto que al hacerlo, podemos llegar en más de un momento a un 'activismo', que quizá resultaría motivador para el estudiantado, pero en verdad eso no es enseñanza científica (Izquierdo, 2000). En el otro extremo, trabajar los componentes teóricos de la historia de la química, desde una ciencia axiomatizada, centrada en signos, fórmulas y símbolos, desvinculada del mundo real, exclusivamente instrumental, tampoco es hacer química; y en este caso, no es ni siquiera motivador para comprender la historia de la ciencia con todas sus debilidades y fortalezas (Crombie, 2000).

Para desarrollar competencias científicas es necesario, pues, un cambio en los enfoques y un cambio en las metodologías. En este sentido, la historia de la química no será la panacea universal que resuelva todos los problemas de la enseñanza de la química, pero puede contribuir a profundizar en el significado de los conceptos, pues contiene bastantes situaciones que pueden ayudar a comprender qué ocurre con los cambios de modelo explicativo o de paradigma, a relacionar las teorías con la experiencia, con la búsqueda de explicaciones sobre los fenómenos de la vida cotidiana, con la formulación de situaciones que necesitan o han necesitado, en el pasado, de una explicación química.

Además, actualmente, los grandes problemas que tiene planteados la humanidad, necesitan de la química (no solo), como el cambio climático o la sostenibilidad. Plantear situaciones relevantes, relacionadas con temas de actualidad puede despertar el interés del alumnado. La historia de la química nos ofrece recursos, por ejemplo, respecto a los antecedentes de dichos problemas, de tal manera que se pueden relacionar Ciencia, Tecnología, Género, Sociedad, Ambiente, por poner un ejemplo actual y de interés en los medios.

Si la introducción de las competencias conlleva una nueva forma de definir las intenciones educativas (Arias-Correa *et al.*, 2009) e incorpora la importancia de la funcionalidad, es decir, usar el conocimiento para actuar sobre la realidad (Martín, 2008), la integración de los diferentes contenidos, la utilización de saberes en diferentes contextos o la acentuación de lo relevante, habrá que pensar en la metodología más adecuada para que toda la población estudiantil adquiera las

competencias básicas. En el caso de las ciencias, hay que superar el reduccionismo conceptual (Gil y Vilches, 2008). El éxito de las mediaciones docentes residirá en enseñar a pensar, a hablar, a hacer, a autorregularse y a trabajar en colaboración (Pujol, 2007), porque las ciencias han de servir, entre otras cosas, para analizar e interpretar fenómenos e información, han de ser comunicables y constituyen una actividad (Izquierdo, 2007) que se realiza en equipo y debe ser evaluable. Esto será posible con un profesor reflexivo, conocedor de cómo aprende ciencias el alumnado y de los medios adecuados para potenciar ese aprendizaje

3.9 El peligro de una historia de la química 'hagiográfica' 'no comprensible'

La historia de la química, a la que estamos haciendo referencia, no es por tanto una historia de fechas o de hechos, es decir, una *historia hagiográfica*. Por ello, resulta evidente en esta reflexión, el enorme valor connotativo y denotativo del lenguaje y de los modos de comunicar y divulgar la historia de la química. A su vez, es necesario hacer notar que *escribir bien* en química no es consecuencia automática de haber actuado convenientemente o haber entendido correctamente lo que el profesorado de ciencia 'habla o escribe'. Consideremos el hecho de que el aprendizaje de la química escolar o profesional, tiene que ver con la evolución y diferenciación de las ideas y de los puntos de vista, desde concepciones muy simples (el modelo de Bohr por ejemplo) a concepciones más complejas (el modelo cuántico de Schrödinger, Heisenberg, Born y von Neumann) y que estos desarrollos solo son posibles a través de la interacción social y educativa debidamente intencionada. Es el lenguaje y su retórica problematizadora el medio estratégico por el cual se expresa el pensamiento químico y es la comunicación intencionada con la 'comunidad química' (y con 'las otras ciencias'), la que promueve modificaciones en las ideas que se expresan, sobre todo cuando la incorporación de la historia de la química en estos procesos (formación, enseñanza, aprendizaje, divulgación) requiere una argumentación coherente y modelizada teóricamente; insistimos, no es por tanto una historia hagiográfica. Pero para alejarse cada vez más de esta visión hagiográfica se requiere de una formación adecuada desde perspectivas actuales sobre lo que es la historia de la ciencia, las líneas de investigación que sigue y al mismo tiempo sus metodologías, todo esto para diferenciarla de la visión clásica de historia. Esto implica que el profesorado realice una selección de fuentes cada vez más especializadas en el campo de la historia de la ciencia, y que se distancie de fuentes clásicas, escritas más desde una perspectiva de divulgación de la ciencia y no de especialistas de la historia de la ciencia, llevando a quien las lea a que incurra en imágenes erradas, tales como las de héroes o villanos de la ciencia, en donde estos últimos obstaculizaron su desarrollo; teorías erradas y teorías verdaderas; experimentos geniales y cruciales; en instrumentos científicos

como cajas negras¹³ que se usan pero no se conoce su funcionamiento y menos su papel en la construcción del conocimiento, etc. En segundo lugar, es necesario documentarse sobre ejemplos de cómo emplear la historia de la ciencia desde una perspectiva contemporánea, situaciones que han sido estudiadas y muchas de ellas surgen como buenos ejemplos implementados en el aula de clase; en los libros *Historia de la ciencia I y II* (Quintanilla, 2007) hemos presentado algunas alternativas de cómo llevarlo a cabo.

La química que se enseña y aprende en las escuelas y universidades tiene modos de comunicación específicos, debidamente identificados y caracterizados, para que profesorado, estudiantado y sociedad se entiendan. Sin embargo, si una de las funciones de la escuela es educar en ciencias para una cultura ciudadana, debemos pensar en la necesidad de crear los ambientes cognitivo lingüísticos adecuados (verbales, gestuales o escritos) que favorezcan justamente esta idea de comunicación de ideas científicas para que nuestros estudiantes también aprendan a hablar la 'química de verdad'. El lenguaje de las diferentes disciplinas científicas utiliza unos términos y unas expresiones lingüísticas y algorítmicas que tienen significado en el contexto de emitir o predecir hipótesis, de interpretar resultados, o de concluir, pero todo al interior de la comunidad científica. Se espera que estudiantes, docentes y científicos utilicen y problematicen el lenguaje de la química que se encuentra en artículos, libros de texto, para traducir las preguntas, las explicaciones, las dudas, que surgen de la vida cotidiana en términos de significados compartidos y que necesariamente, no son las mismas que han preocupado a las comunidades científicas, en la historia de la química en particular o de la ciencia en general, siendo la opinión pública a veces determinante en estas representaciones (Bensaude-Vincent, 2000). Pero estos modos de comunicación implican, por un lado, el reconocimiento de su importancia, y por el otro de formación en la misma. En cuanto a lo primero, es importante ser consciente del papel de comunicadores que tenemos los profesores y de la necesidad de enseñar a comunicarse en ciencias, y es que esto no se debe dejar al profesorado de lenguas, sino que quien sabe cómo se hacen descripciones en química, como se deben hacer explicaciones y argumentaciones en química es el profesorado de química, ya que esto no se aprende por imitación (idea bastante difundida entre el personal docente), es un proceso que debe hacerse de forma planificada y rigurosa, de forma intencionada y con unos objetivos claramente definidos. En segundo lugar, se hace necesario el formarse en el diseño de estrategias que permitan al estudiantado

13 "Los historiadores de la ciencia han ampliado este concepto para incluir no sólo objetos materiales sino también ideas y conceptos, de forma que por cajas negras se entienden toda una serie de herramientas intelectuales y materiales que los científicos consideran suficientemente fiables como para ser usadas en la exploración e interpretación de la naturaleza" (Bertomeu y García-Belmar, 2002).

aprender el cómo desarrollar cada una de estas habilidades cognitivo lingüísticas en el contexto de la química. El aprender a realizar descripciones, explicaciones, argumentaciones en ciencias no solo es una tarea del alumnado, es una tarea prioritaria del profesorado de ciencias.

3.10 ¿Qué historia de la química es la más apropiada a estas 'nuevas finalidades' que promueven CPC en la clase de química?

La evolución de la historia de la química no ha sido monolítica ni lineal, como a veces se plantea sino que ha sido variada y compleja. La historia de la química como instrumento didáctico debe evitar estereotipos y visiones distorsionadas para mostrar la complejidad de los modelos científicos y promover las competencias de pensamiento científico. Así se considera que el profesorado debe dominar la historia de la química para utilizarla en el aula y conseguir una educación científica de calidad para toda la población. No se trata de establecer un paralelismo directo entre la evolución histórica de los conceptos y la construcción del conocimiento durante el proceso de aprendizaje, pero la historia de la química permite conocer los problemas epistemológicos que se ha planteado el pensamiento humano. Y es un instrumento poderoso para legitimar la situación actual de la ciencia y para defender la legitimidad de los cambios en los modelos de química escolar.

Durante demasiado tiempo se ha aceptado un enfoque de la historia de la química positivista, objetiva y neutra que difícilmente preparaba para pensar y participar en una sociedad democrática. Cualquier enfoque historiográfico no es válido para proveer las competencias científicas, puesto que algunos desprecian la contribución de las tradiciones artesanales anteriores a la química moderna, y por ejemplo menosprecian la contribución de la alquimia a la química, como disciplina. La existencia de puntos débiles en el modelo de historia de la química que se organiza en torno al "yo racional", se manifiesta en las nociones de imparcialidad y separación de consideraciones emocionales, en oposición a nuestro "yo emocional". La historia de la química ayuda a reforzar la idea que el conocimiento se construye y contribuye a reforzar el modelo de química escolar, un modelo que debe partir de una definición de química más amplia. En cada época una idea química se explica en función de los conocimientos disponibles y de las corrientes de pensamiento, a veces opuestas, que animan el espíritu de las personas que estudian y que orientan sus trabajos. A veces ha habido un desplazamiento de las ideas que vuelve a poner en duda adquisiciones anteriores y que da salida a nuevas explicaciones de un fenómeno químico y el conocimiento histórico ayuda a tener una visión de la química no simplista. Así, el uso de textos históricos relativos a fenómenos químicos realizados en diferentes épocas permite analizar la evolución de un concepto químico. Usar textos, recetas y narrativas históricas es una manera de presentar

en clase un modelo de química escolar, además de ejemplificar la evolución de las ideas y de la autoría científica, a lo largo de los siglos.

La Química escolar y el profesorado deben trabajar con una perspectiva inclusiva de las prácticas científicas para reflexionar sobre la identidad singular de cada científica y científico. La experiencia histórica ha sido compleja y recoger su riqueza significa no silenciar determinadas tradiciones artesanales, con su participación femenina. En la química escolar la presentación de modelos de mujeres actuales e históricas que puedan servir de modelo de identificación y referencia es muy útil. Las distintas tradiciones asociadas a la química, que han conformado el pensamiento químico a lo largo de los siglos y los cambios introducidos en los nuevos enfoques historiográficos permiten reescribir la historia de las ciencias, con los aportes de hombres y mujeres científicos. La existencia de un corpus crítico, multidisciplinar, muy rico y considerablemente amplio para incorporar la práctica científica femenina a la historia de la química, se manifiesta por ejemplo, en las recientes investigaciones sobre Margaret Cavendish que considerada inicialmente una mujer con ideas exóticas sobre los átomos, hoy se cree que anticipó algunos de los temas centrales asociados a figuras como Thomas Hobbes y David Hume. El reto actual consiste en incorporar las investigaciones históricas centradas en los aportes femeninos a la metanarrativa histórica, es decir a los relatos generales que la historia de la química ha creado y consolidado.

La experiencia científica femenina no ha sido siempre marginal, tal como muestra la tradición histórica androcéntrica y al rastrear con convicción en el pasado científico, se identifica la práctica científica de muchas mujeres que contribuyeron a la creación de conocimiento químico. Por ello, recuperar textos e iconografía históricos relativos a distintas épocas históricas permite construir una genealogía de práctica científica femenina. Para rehacer una genealogía de práctica científica femenina es necesario seleccionar fenómenos científicos y figuras históricas que visibilicen la práctica científica de las mujeres, que frecuentemente trabajaron y construyeron conocimiento en espacios diferentes de la experiencia masculina. En conjunto se trata de enriquecer la reconstrucción de los contextos socioculturales en los que se desarrolle la historia de la química, como un campo más amplio y contextualizado, es decir de desarrollar las relaciones entre la historia de las ciencias, la ciencia escolar y la actuación en el mundo, para replantear los procesos de enseñanza y de aprendizaje en las aulas.

Una historia de la química que promueva CPC debe promover el uso de la cultura literaria y material de la historia de la química combinando todo tipo de fuentes, incluyendo las iconográficas. Es decir, es necesario no ocultar las controversias y las dificultades históricas planteadas para establecer las diferentes teorías químicas. Ello permite una transformación de los currículos químicos, incide en la formación

inicial y continuada del profesorado y en el quehacer docente. Además, la inclusión de los contextos culturales o de la cultura en la historia narrada de la química posibilita nuevas estrategias y presenta nuevos retos en la formación en este campo de conocimiento. La realización de pequeñas investigaciones aplicadas, orientadas a la enseñanza de la química, de forma que tengan en cuenta el desarrollo de una idea científica en relación a su contexto histórico y cultural. Para ello es necesario vincular contenidos de la historia de la química y proponer materiales didácticos, creados a partir de la utilización de fuentes primarias de distintas tipologías. Los estudios históricos están basados generalmente en representaciones textuales del pasado, pero deben incluir la cultura material de la química para profundizar en las prácticas químicas del pasado. Se trata de trabajar con fuentes historiográficas como textos, pequeñas narrativas, recetas históricas e instrumentos históricos, a partir del análisis de los dibujos de la época o de gráficos que se han realizado para su reconstrucción. La utilización en el aula de textos históricos está dirigida a fomentar, en el profesorado y estudiantes el desarrollo de competencias científicas y comunicativas, especialmente la competencia lectora y otras competencias cognitivo - lingüísticas paradigmáticas de las ciencias. También pueden ser útiles para fomentar la discusión en torno a la enseñanza de la naturaleza de la ciencia y para construir genealogías de práctica científica femenina.

También es importante tener en cuenta que la producción escrita en las tradiciones artesanales, cuando existía, se agrupaba en forma de recetario, un formato muy útil para su utilización didáctica en el aula. A partir del diálogo con los textos históricos y su análisis, se propone el desarrollo de las competencias científicas y lectoras, la realización de descripciones, explicaciones y justificaciones, la búsqueda de equivalencias, la comparación de procesos e instrumentos históricos con los actuales y la confección de mapas conceptuales. Asimismo se propone la búsqueda del significado de algunas entidades en la tradición alquímica y en el caso que sea posible su equivalencia en la química actual.

El uso de la historia de la química permite abordar lateralmente algunas dificultades de construcción de los modelos mentales que presenta la persona que se inicia al aprendizaje químico. Por ejemplo, la construcción del modelo de cambio químico o reacción química no avanza correctamente si no se focaliza la atención en la formación de nuevas sustancias y así, por ejemplo, la formación de un gas se puede interpretar como un cambio de estado. Es importante saber que a finales siglo XVIII, Antoine Lavoisier interpretaba un cambio químico como una pérdida de calórico y este hecho ayuda a comprender las dificultades de conceptualización. Por otra parte, la evolución histórica del atomismo mecanicista al atomismo químico ilustra algunos de las dificultades que se plantean en la aplicación del modelo atómico -molecular cuando proponen todas las combinaciones posibles entre átomos. Por último, en la iatroquímica de Paracelso, en el siglo XV, se asignó forma

material a las cualidades abstractas. Por ejemplo, al azufre se asignó el principio de combustibilidad, a la sal el principio de fragilidad o rigidez y al mercurio, el principio de fluidez o densidad.

En un sentido aún más complejo, nos parece que el camino de la formación científica en historia de la química desde una visión naturalizada de la ciencia, requiere un análisis complementario con base epistemológica y también metodológica. En su libro *La comprensión humana*, Toulmin (1977) instala una interesante discusión acerca del *cambio conceptual* y del *cambio científico* con el propósito de evaluar permanentemente las categorías de análisis por donde se moviliza el conocimiento científico desde la lógica del objeto y del sujeto científicos. Por tanto, si asumimos el carácter 'dinámico y cambiante' de la química, es evidente que la reflexión y comprensión de estos cambios debiera estar integrada en la formación inicial y permanente del profesorado y de la comunidad científica, puesto que, como lo anticipáramos en este capítulo, favorece la valoración de una *racionalidad moderada* acerca de los hechos, fenómenos, métodos y contextos en los que dicho conocimiento se construye y, en consecuencia, se divulga y enseña. Al respecto y, aunque no se pueda justificar totalmente, se ha de aceptar un cierto *Principio de Inducción* para comprender el significado de la química que se reconstruye y resignifica a través de la historia y la configuración de una imagen más cercana a la química que enseñamos en la escuela o 'química escolar'. Actualmente, las ciencias cognitivas nos resuelven en alguna medida este problema, intentando explicar *cómo se genera y funciona el conocimiento científico en la mente de las personas*. En esta postura epistemológica, como lo hemos insistido a lo largo de este capítulo, las ciencias son vistas como empresas profundamente humanas: su propósito es interpretar el mundo con teoría, de manera 'racional y razonable', utilizando para eso la capacidad que tenemos de emitir juicios. En consecuencia, esto lleva a desdibujar las fronteras entre el pensamiento científico y el pensamiento cotidiano y da lugar a nuevos modelos de ciencia que se han de enseñar, aprender y valorar (Izquierdo, 2001; Copello, 1995).

3.11 ¿Para qué divulgar y enseñar a aprender historia de la química?

Como lo hemos ilustrado en las 'controversias de Bohr y Heisenberg' o en parte de la vida científica de John Dalton, nos parece importante insistir en el hecho de que la química es un proceso de constitución del saber científico con dimensiones no sólo históricas, sino también sociales y culturales que derivan en tensiones y distensiones específicas en un momento particular de la historia humana. En consecuencia, para potenciar estas ideas, resulta relevante valorar la incorporación de la historia de la ciencia en los procesos de formación inicial y continua del profesorado y divulgadores de la ciencia (periodistas científicos,

monitores de museos de ciencia, investigadores), puesto que permite relacionar el entramado conceptual que se ha formado en un 'momento particular de la historia' y el 'problema científico' que se intenta solucionar con las teorías y los instrumentos disponibles (Quintanilla, García-Martínez & Izquierdo, 2009). Esta idea de formación y enseñanza permite comprender marcos teórico-conceptuales diversos para interpretar fenómenos científicos que *hoy comprendemos bien* y que se explican mediante teorías actuales de la química (¿átomo químico, átomo físico o ambos?). Nos permite también conocer la relación entre la química y la cultura de una época determinada, y analizar la influencia de las ciencias en el desarrollo, consolidación o abandono de las teorías científicas. Por ejemplo, ¿De qué manera la época de Bohr y Heisenbergh 'influyó' en sus respuestas y 'nuevas preguntas'?

3.12 ¿Cómo enseñar y aprender historia de la química para 'nuevas finalidades educativas'?

Si después de las lecturas precedentes somos conscientes de la relevancia de la historia de la química en la construcción del conocimiento y en la formación profesional, tiene sentido la lectura que se avecina. Hasta ahora hemos planteado la idea central de enseñar y divulgar una química cuya naturaleza epistemológica define muy bien el realismo pragmático o naturalismo al que hacíamos alusión en los párrafos anteriores y que tiene ciertos atributos que la hacen distinta de otras visiones epistemológicas, diríamos tradicionales o más dogmáticas o abiertamente comprometidas con los procesos políticos, económicos o sociales (Shapin & Barnes, 1977). Del mismo modo, y debido a la gran complejidad y rigor científico que plantea cualquier análisis o postura de esta naturaleza, desde la historia de la ciencia se ha desarrollado una labor de acuerdo con una doble perspectiva de los sucesos, las épocas y las formas de abordarlos, es decir, desde la llamada historiografía vertical o desde la historiografía horizontal. La historiografía vertical o sincrónica es la que se caracteriza fundamentalmente por la delimitación de una noción científica problemática y el seguimiento de su evolución y transformación a lo largo de la historia de la ciencia. Por otro lado, la historia horizontal o diacrónica se interesa por la llamada 'ciencia del pasado' en sí misma, por sus teorías, métodos e instrumentos, su organización y toda la compleja trama de influencias intelectuales que se tejen en ella en cada situación histórica, coincidiendo con marcos axiológicos y pactos meta teóricos y metodológicos que se comparten en las comunidades científicas de una determinada época (Barona, 1994; Izquierdo, 2001). En este sentido, adherimos a la idea de Crombie (2000) que vincula las preguntas, las respuestas y los contextos a los que debiera aspirar toda meta de un historiador científico. Al respecto nos orienta el autor:

"...La meta del historiador de la ciencia...es encontrar que problemas preocupaban a los científicos antes de que fueran resueltos, cuáles eran sus hipótesis y expectativas, y qué es lo que ellos consideraban como respuesta y explicación..." (Crombie, 2000, pp. 19)

Hemos insistido, en líneas anteriores, que en la actualidad muchas escuelas e investigaciones situadas en las disciplinas de carácter metacientífico –como la epistemología, la historia de la ciencia y la didáctica de las ciencias experimentales– conciben la química como una *actividad humana* de producción, evaluación, aplicación y difusión de saberes eruditos, inmersa en un contexto histórico, social y cultural que le da sentido a la llamada *actividad científica*, al precisar las finalidades de intervención que se persiguen y los valores que se sostienen o están en juego, en las comunidades e instituciones científicas, cuyas acciones están determinadas por múltiples factores y procesos. De ahí la enorme importancia de incluir la reflexión *acerca de y sobre el proceso de construcción histórica* del conocimiento científico en los nuevos proyectos curriculares de enseñanza de la química para docentes y personal científico. Según Izquierdo (2001) las ciencias experimentales pueden caracterizarse a lo menos por cuatro dimensiones principales: su *objetivo esencial* (¿Por qué queremos conocer, describir e interpretar el mundo a través de la química?); su *metodología* (¿Cómo se relacionan los diferentes experimentos y las teorías de la química entre sí?); su *racionalidad* (¿Cómo y porqué cambian las teorías 'de la química' a lo largo de la historia humana?) y la *naturaleza de las representaciones científicas* (¿Nos dice algo la química sobre el mundo real?). A partir de la consolidación de estas dimensiones en los distintos enfoques curriculares *acerca de y sobre la enseñanza de la química*, lo más esencial sería, entonces, enseñar a *pensar, a hablar y a actuar* a los estudiantes sobre las situaciones diversas en las cuales se interaccionan sistemáticamente con el mundo físico o material (Álvarez Lires, 1997; 1999).

3.12.1 Comprender la historia de la química como 'actividad profundamente humana'

En cualquier caso, no se está hablando de procesos ingenuos de la naturaleza de la química y su enseñanza, dado que partimos de la base de que en ellos se construye la vida de las personas y de los grupos sociales con alguna intencionalidad epistemológica determinada pero, como plantea Bordieu (2003) también ideológica y social. Para este sociólogo francés, la ciencia se refiere a un abanico muy definido de problemas, cuyo *paradigma o matriz disciplinaria*¹⁴ es aceptado por una fracción importante de científicos que tiende a imponerse a todos los demás de manera continua y disciplinada, no sólo para validar el conocimiento

14 El destacado es del propio Bordieu. Ibidem, pp 34.

construido, sino que para legitimar la *autoridad* de sus acciones, procedimientos y convicciones en la comunidad científica. Esto, indudablemente, hace pensar a quienes escuchan una conferencia o leen sobre la ciencia divulgada, que su lenguaje es difícil de entender, construir y por tanto, de enseñar y aprender.

En síntesis, el desarrollo evolutivo no lineal de una noción científica en la historia de la química se asemejaría más bien al abandono e incorporación paulatina de nuevos significados en el discurso del científico y a la *evolución, clase y tipo* de interconexiones que se establecen entre ellos de manera dinámica e intencionada a través de la historia de la ciencia (Estany & Izquierdo 1990). Esta 'lógica' de construcción de conocimiento va determinando nuevos 'modelos teóricos' que fortalecen una familia de teorías científicas en desmedro de otras tal y como lo plantea Giere (1992) que considera que los conceptos, teorías, y procedimientos específicos de una ciencia, forman parte de una red dinámica entre el conocimiento cotidiano y el saber erudito (Fig.1). De una manera análoga, como lo señala Toulmin (1977), están en *evolución constante*, sufriendo cambios a veces imperceptibles.

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

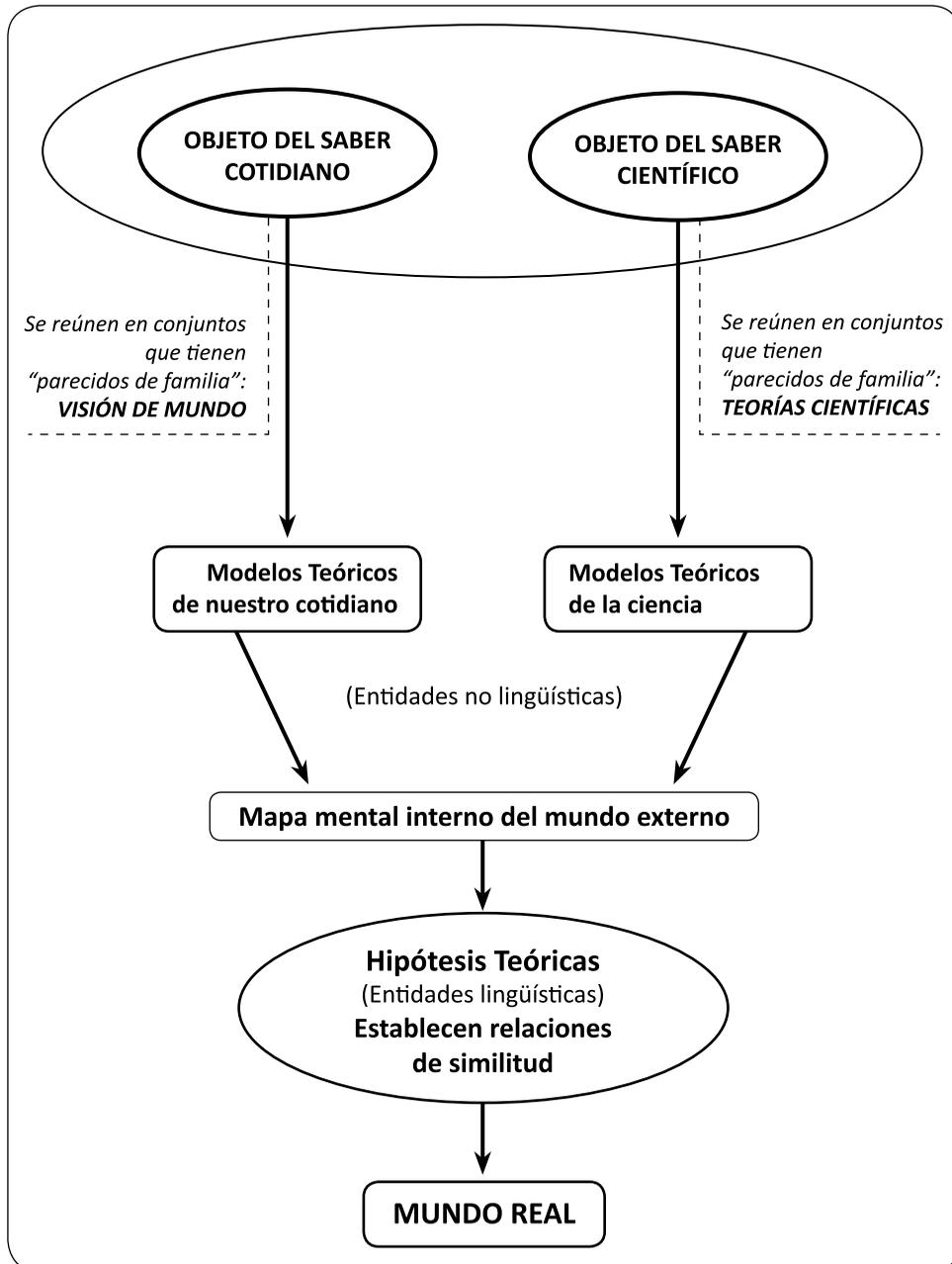


Figura 1: Relaciones entre el lenguaje cotidiano y el lenguaje científico (erudito) según los acercamientos cognoscitivos de la ciencia (Giere, 1992, Copello, 1995).

Según este investigador y filósofo de la 'nueva ciencia', los conceptos, procedimientos y teorías, 'funcionan' de manera parecida a los individuos de un sistema biológico, es decir, están sometidos, como diría Darwin a las leyes de la selección natural, a una dinámica de constante cambio y renovación. Por ejemplo, el concepto de 'ley periódica' que hoy enseñamos en una clase de química general (Fig. 2), no es *exactamente el mismo* concepto que se enseñaba y divulgaba a fines del siglo XIX (Camacho & Cuéllar, 2007). El factor determinante de la *evolución científica*, que en biología correspondería a la *adaptación a nuevos ambientes*, sería la utilidad práctica del conocimiento científico y sus significados (Toulmin, 2007). Así se introduce la noción teórica de *cambio conceptual* o de *esquemas conceptuales* al que de un modo similar podemos darle una explicación metateórica, ya que la permanente evolución de los conceptos científicos en la historia de la química, es parecida al continuo y permanente cambio de las ideas que tenemos sobre la naturaleza de la ciencia cuando aprendemos a hablarla y a escribirla. En definitiva, Toulmin reconoce que el cambio progresivo de una disciplina científica como la química implica ajustes y desajustes, tensiones conceptuales e incertidumbres propias del conocimiento específico y de la lógica con la que se construye y modifica en la historia de la ciencia.

En consecuencia, la posibilidad de *enseñar al estudiantado a comprender cómo se aprende a escribir y a hablar acerca de y sobre la química*, requiere por parte del docente que enseña química, un compromiso permanente no sólo con la transferencia de nociones específicas sino que con la identificación y caracterización de los modos o estilos con que los estudiantes están percibiendo la realidad, concibiendo el mundo y aprendiendo también a través de él a modelizarlo e interpretarlo discursivamente con estas 'ideas y palabras' provenientes de la experiencia personal y de la propia química.

3.13 El modelo de Toulmin aplicado a la noción científica de 'Ley Periódica'

Desde la propuesta original de Toulmin (1977), se establece que existen tres maneras alternativas o metodológicas de representar el proceso histórico del cambio conceptual: el modo *transversal*, el modo *longitudinal* y el modo *evolutivo* o *combinado*. De acuerdo con lo mencionado anteriormente, el concepto de ley periódica se aborda desde la vía evolutiva¹⁵ (Fig. 2) con el propósito de dar cuenta cómo se desarrolló y consolidó este concepto científico 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 (Camacho & Cuéllar, 2007).

15 La orientación vertical y transversal entregan otros datos y elementos de juicio.

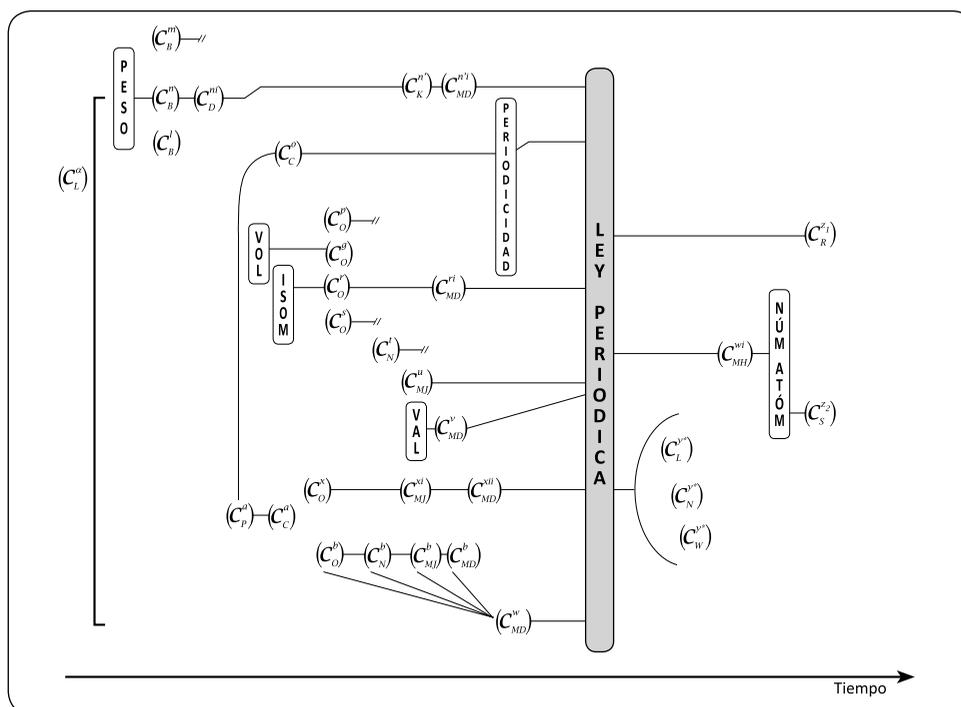


Figura 2: La evolución de la noción de Ley Periódica en la historia de la química (Camacho & Cuéllar, 2007)

Según Camacho & Cuéllar (2007) a propósito de la variación conceptual de esta noción científica específica, es posible afirmar que durante el desarrollo histórico de la ley periódica se iban verificando proposiciones en la medida que aparecían nuevos conceptos que permitían 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)¹⁶. Además, como se evidenció en la sección anterior, la ley periódica, fue una tarea comunitaria, 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).

¹⁶ Citado por Camacho & Cuéllar (2007).

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 discusión científica, filosófica y, por cierto, educativa¹⁷; Schmidt & Baumgärtner, 2003; Scerri, 2001, 1998; Vihalemm, 2003 citados por Camacho & Cuéllar, 2007) o como posible manera de abordar la problemática de la enseñanza de las propiedades de los elementos químicos. Para Camacho & Cuéllar (2007), en cuanto a la selección intelectual que establece Toulmin para dar cuenta de las razones y causas que permitieron la evolución de la noción científica aquí enunciada, 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 que reconocía como relevante la comunidad de químicos de fines del siglo XIX. Concluyen Camacho & Cuéllar (2007) que los cambios relevantes, que se expusieron para que pudiese emerger el concepto de ley periódica, fueron posibles gracias a consideraciones intelectuales relevantes y esto, entre otros aspectos, permitió que la formulación de Mendeleiev fuera acogida por la comunidad de químicos y físicos en el siglo XIX, 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). Además de ser un ‘modelo científico’ se transformó en un ‘modelo de enseñanza’ de la química.

3.14 Controversias y posibilidades para una ‘nueva historia de la química’ (NHQ)

El enfoque presentado nos parece el más acertado y también el más difícil de trabajar en la enseñanza de la química, la formación docente y la divulgación científica que hemos investigado en alguna oportunidad, utilizando para este propósito fuentes escritas e iconográficas de distinta naturaleza (Camacho, Quintanilla & Cuéllar, 2007; Uribe & Quintanilla, 2005; García-Martínez, 2009). Pensamos que nos da orientaciones acerca de qué y cómo hemos de enseñar en determinados contextos educativos, suponiendo además que la química hoy la concebimos no desde una representación restrictiva o diríamos reduccionista, sino que conectada a valores, concepciones filosóficas, lenguajes, instrumentos y determinadas finalidades que le dan sentido de intervención y transformación del mundo y que podemos utilizar teóricamente como sustento didáctico en todo el proceso educativo y de formación profesional (Izquierdo *et al.*, 2006).

17 Christie, J. y Christie, M. (2003); Jürgen Schmidt, H. and Baumgärtner, H. (2003); Scerri, E. (2001, 1998). Vihalemm, R. (2003). Citados por Camacho & Cuellar (2007).

Hemos presentado en este capítulo algunas ideas que nos parecen teórica y experiencialmente muy relevantes a la hora de pensar en cómo estamos potenciando el lenguaje de la química, y con ello el aprendizaje para una 'nueva historia de la química'. Situamos el tema desde un análisis didáctico y epistemológico, puesto que estos referentes le dan consistencia a la toma de decisiones y a la gestión del conocimiento científico de los profesores en el aula, aún en contextos restrictivos de aprendizaje. Sin embargo, vemos en la realidad que poco o nada se conoce de estos elementos de análisis para superar las enormes dudas o contradicciones que, eventualmente, surgen en la reflexión del químico o del 'enseñante de química' y del propio estudiante que aprende química pese a sus profesores. El origen de estas dudas, contradicciones y acuerdos que hemos presentado en este capítulo, está en aceptar que lo más importante de la química en la escuela y en la formación profesional del profesorado de ciencias y 'del químico', es actuar con un objetivo compartido entre estudiantado y docentes y en que es difícil que el objetivo de esta ciencia experimental por naturaleza (aprobar o 'pasar de curso'), coincida con el objetivo del conocimiento científico, es decir, interpretar los fenómenos pensando y discutiendo en un entorno disciplinar donde se *habla, escribe, comunica y divulga la ciencia*. Es así como se ha construido la historia de la química, que sin duda alguna tiene el gran mérito de ayudarnos a pensar sobre el mundo.

Referencias bibliográficas

- Álvarez Lires, M.** (1997) Comprensión y expresión oral y escrita en Ciencias de la Naturaleza (3º de ESO). Investigación e innovación en la didáctica de las ciencias. V Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, nº Extra, pp. 231-233.
- Álvarez Lires, M.** (1999). The History of Science and Technology in Teacher Training. En: Debru, C. (ed.). *History of Science and Technology in Education and Training in Europe. Euroscientia Conferences*. Brussels: European Commission DG RTD, p. 261-263.
- Álvarez Lires, M.** (2000). Papel de la Historia de las Ciencias en la enseñanza de la Química: situación actual y perspectivas. En: Limón, M. *et al. Aspectos didácticos de Física y Química (Química)*. 9. Zaragoza: ICE Universidad de Zaragoza, p. 29-69.
- Álvarez Lires, M.** (2006). La historia de la ciencia en la formación del profesorado de ciencias naturales. En: Quintanilla, M.; Adúriz-Bravo, A. *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y propuestas*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Pontificia Católica de Chile, p. 239-257.
- Álvarez Lires, M., Arias, A., Pérez Rodríguez, U., Serrallé, J. F.** (2013). La historia de las ciencias en el desarrollo de competencias científicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 31 (1), pp. 213-233.
- Arias Correa, A. et al.** (2009). *O traballo por proxectos en infantil, primaria e secundaria*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia.
- Audigier, F., Fillon, P.** (1991). *Enseigner l'histoire des sciences et des techniques*. París: INRP.
- Barona, J.** (1994). *Ciencia e Historia*, Editorial SEC, Universidad de Valencia, España.
- Bensaude-Vincent, B.** (2000). *L'opinion publique et la science. A chascan son ignorante*. Intitut d'édition scenofi-synthélabo. Paris, 7-19.

- Bertomeu y García-Belmar** (2002). Abriendo las cajas negras. Instrumentos científicos de la Universidad de Valencia. Valencia: Universidad de Valencia.
- Bolívar, A.** (2009). *Diseñar e avaliar por competencias na universidade. O EEES como reto*. Vigo: Vicerreitoría de Formación e Innovación Educativa, Universidade de Vigo.
- Bordieu, P.** (2003) *El oficio del científico*, Anagrama, Barcelona.
- Camacho, J. & Cuellar, L.** (2007) La ley periódica desde la propuesta de Toulmin. Aportes para la enseñanza de la Historia de la Química. En: Quintanilla, M. (2007) *Historia de la Ciencia. Aportes para su divulgación y enseñanza*. Vol. II. Editorial Arrayán, Santiago de Chile. Inscripción N° 167.257 ; 956-240-573-7. ISBN 956-240-571-3.
- Camacho, J., Quintanilla, M. & Cuéllar, L.** (2007) Ley periódica ¿modelo de enseñanza o modelo químico? reflexiones desde la historia de la ciencia. *Actas del X Encuentro de Educación Química*, Universidad de Talca, Chile
- Chalmers, A.** (1993) *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*, Madrid, Siglo 21 Eds.
- Christie, M.J.S. Hodge (eds.)** *Companion of the History of Modern Science*. Routledge. London 1990, pp. 990-1007.
- Copello, M.** (1995) La interacción maestra-alumnado en el aula: dilemas sobre acciones favorecedoras del acercamiento entre los significados en relación a contenidos de ciencias naturales. *Tesis de Master*. Departamento de Didáctica CCEE i Mm, U.Autónoma de Barcelona, España
- Crombie, A.** (2000) *Historia de la Ciencia: De San Agustín a Galileo/ 1 Siglos V-XIII* Alianza Editorial.
- Echeverría, J.** (1995). *Filosofía de la Ciencia*. Madrid: Akal Ediciones.
- Echeverría, J.** (2002). *Ciencia y valores*. Barcelona: Destino.
- Estany, A., Izquierdo, M.** (1990). La evolución del concepto de afinidad analizada desde el modelo de S. Toulmin. *Llull*, vol. 13 , 349-378., Barcelona.
- Fauque, D.** (1998). *Introduire l'histoire des sciences dans l'enseignement scientifique secondaire en France, expériences et perspectives*. En Conference on the History of Science and Technology in Education and Training in Europe. Strasbourg: Université Louis Pasteur.
- García-Martínez, A. & Quintanilla, M.** (2005) Historia de la ciencia y formación docente. Algunos elementos para el debate didáctico. *Actas de las IV Jornadas Internacionales para la enseñanza preuniversitaria y universitaria de la Química*, Universidad Autónoma de México, D.F.

- García-Martínez, A.** (2009). *Aportes de la historia de la ciencia al desarrollo profesional de profesores de química*. Tesis Doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Giere, R.** (1992) Cognitive models of Science, XV-XXVIII. In: *Cognitive Models of Science*, Giere, R. (Ed.). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Giere, R.** (1994) The cognitive structure of scientific theories, *Philosophy of Science*, 61, 276-296.
- Giere, R.** (1988). *Explaining science. A cognitive approach*, Chicago: University of Chicago Press (Trad. cast. La explicación de la ciencia: un acercamiento cognoscitivo, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México, 1992).
- Gil, D. y Vilches, A.** (2008). Que deben saber e saber hacer los profesores universitarios? En VV.AA. *Novos enfoques no ensino universitario*. Vigo: Universidade de Vigo, pp. 25-43.
- Hilgartner, S.** (1990) "The dominant view of popularisation: conceptual problems, political issues", *Social Studies of Science*, 20, 519-539.
- Izquierdo M.** (2000) Relaciones entre la historia i la didáctica de las ciencias, *Actes de les V Trobades d'història de la ciència i de la tècnica*, Barcelona,
- Izquierdo M.** (2001) *Fundamentos epistemológicos*. En: Didáctica de las Ciencias Experimentales: Teoría y Práctica. Perales, F.J. & Cañal, P. (eds). Alcoy: Marfil, Madrid.
- Izquierdo, M.** (1997). ¿Qué sabemos actualmente sobre la construcción del conocimiento? En: Álvarez Lires, M. y Pérez Mariño, M. (eds.). *O ensino da Química*. Vigo: Universidade de Vigo.
- Izquierdo, M. et al.** (2004a). Ciencia escolar y complejidad. *Investigación en la escuela*, 53, pp. 21-29.
- Izquierdo, M.** (2004b). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: contextualizar y modelizar. *The Journal of the Argentine Chemical Society*. 92. 115-136.
- Izquierdo, M. et al.** (2009). *Guia per a l'avaluació de la competència Científica a ciències, matemàtiques i tecnologia*. Barcelona: Agència per a la Qualitat del Sistema Universitari de Catalunya.
- Izquierdo, M., Quintanilla, M., Vallverdú, J. & Merino, C.** (2007) Una nueva reflexión sobre la historia & filosofía de las ciencias y la enseñanza de las ciencias. En: Quintanilla, M. (2007) *Historia de la Ciencia. Aportes para la formación del profesorado*. Vol. I. Editorial Arrayán, Santiago de Chile. Inscripción N° 167.082; 956-240-572-0. ISBN 956-240-571-3.

- 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; Sanmartí, N.** (1990). Contribució de la història de les ciències a la formació del professorat i a la recerca en didàctica de les ciències. En: Codina; Llobera (eds.). *Història, Ciència i Ensenyament*. Barcelona: E.U. del Professorat d'E.G.B., S.E.H.C.Y.T.
- Jorba, J. et al. (ed.).** (1998). *Parlar i escriure per aprendre*. Bellaterra (Barcelona): ICE UAB.
- Kragh, H.** (1987). *Introducción a la historia de la ciencia*. Barcelona: Crítica, 1989.
- Kragh, H.** (1990). *Una Introducción a la Historiografía de la Ciencia*. Barcelona: Crítica.
- Labarca, M. y Quintanilla, M.** (2013) Enseñando a argumentar desde la historia y la filosofía de la química: el caso de los orbitales atómicos (in press).
- Martín, E.** (2008). *Los retos de la escuela pública*. Ponencia presentada en las Jornadas Sarean, Eibar (España).
- Masson, S. y Vázquez-Abad, J.** (2006). Integrating History of Science in Science Education through Historical Microworlds to Promote Conceptual Change. *Journal of Science Education and Technology*, 15 (3), pp. 257-268.
- Mathews, M.** (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: La aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias* 12 (2). 255-277.
- Nieto-Galán, A.** (2007). Las 'Historias de la Ciencia' y sus adaptaciones a la enseñanza: un debate abierto. En: Quintanilla, M. (Comp.). *Historia de la Ciencia. Aportes para la formación del profesorado*. Santiago de Chile: Arrayán, p. 81-93.
- Pellón, I.** (2003). *Dalton, el hombre que pesó los átomos*, Editorial Nivola, Madrid
- Pérez Rodríguez, U., Álvarez Lires, M. y Serrallé, J. F.** (2009a). Utilización de textos históricos y TIC en la enseñanza de la Astronomía: ¿la evidencia de los sentidos corrobora realmente que la Tierra es esférica? *Alambique*, 61, pp. 57-64.
- Pérez Rodríguez, U., Álvarez Lires, M. y Serrallé, J. F.** (2009b). Los errores de los libros de texto de Primer Curso de ESO sobre la evolución histórica del conocimiento del universo. *Enseñanza de las Ciencias*, 27 (1), pp. 109-120.
- Pérez Rodríguez, U.; Álvarez Lires, M.** (2008). The Historical Evolution of Knowledge of the Universe: Errors in Secondary Education Textbooks in Spain. *Astronomy Education Review*, 7 (1), p. 23-36.

- Pérez Rodríguez, U.; Álvarez Lires, M.; Serrallé, F. J.** (2009). Los errores de los libros de texto de primer curso de ESO sobre la evolución histórica del conocimiento del universo. *Enseñanza de las Ciencias*, 27 (1), p. 109-120.
- Piaget, J.; García, R.** (1994). *Psichogénèse et histoire des sciences*. París: Flammarion.
- Pujol, R. M.** (2001). Las ciencias, más que nunca, pueden ser una herramienta para formar ciudadanos y ciudadanas. *Perspectiva escolar*, 257, pp. 2-7.
- Pujol, R. M.** (2007). *Didáctica de las ciencias en la educación primaria*. Madrid: Síntesis Educación.
- Pujol, R. M.** (2008). Pensar en la escuela primaria para pensar en la formación de su profesorado, desde la DCE, en el marco del nuevo grado. *XXIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, Almería (España).
- Quintanilla, M.** (1999) El dilema epistemológico y didáctico del curriculum de la enseñanza de las ciencias: ¿Cómo abordarlo en un enfoque CTS? *Pensamiento Educativo*. Nº 25 pp 299-334. ISSN0717-1013 Santiago, Chile.
- Quintanilla, M.** (2006) Science, citoyenneté et valeurs – socle d’une approche réaliste et pragmatique de l’enseignement des sciences : mise en perspective historique. Editados por UNESCO en el *International Science, Technology & Environmental Education Newsletter* VOL. XXXI, No. 3-4, 2006.
- Quintanilla, M.** (2006b). La ciencia en la escuela: un saber fascinante para aprender a «leer el mundo». *Revista Pensamiento Educativo*, 39(2), pp. 177-204.
- Quintanilla, M.** (2007). La enseñanza del modelo atómico de John Dalton desde una visión naturalizada de la historia de la química. En: Quintanilla, M. (2007) *Historia de la Ciencia. Aportes para su divulgación y enseñanza*. Vol. II. Editorial Arrayán, Santiago de Chile. Inscripción Nº 167. 257; 956-240-573-7. ISBN 956-240-571-3.
- Quintanilla, M., García-Martínez, A. e Izquierdo, M.** (2009) Ideas del profesorado de química en torno al papel de los gases en la comprensión del cambio químico en el siglo XVIII y sus implicaciones didácticas. *Actas del XI Encuentro de Educación Química*, Universidad de Concepción, Chile.
- Quintanilla, M.** (2011) La historia de la Química y su contribución a una nueva cultura de la enseñanza de las ciencias. En: *Historia y filosofía de la química. Aportes para la enseñanza*. (Chamizo, A.) Cap. 2. Editorial Siglo 21, México.
- 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.

- Ravanal, E., Joglar, C., Quintanilla, M. y Labarrere, A.** (2009). Noción sobre enseñanza de las ciencias en profesores de biología en activo y sus implicancias en el desarrollo de competencias de pensamiento científico. *VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Florianópolis (Brasil).
- Sanmartí, N. y Izquierdo, M.** (2001). Cambio y conservación en la enseñanza de las ciencias ante las TIC. *Alambique*, 29, pp. 71-83.
- Scheidecker, M. & Laporte, G.** (1998). *Textes historiques et modélisation en Physique-Chimie*. Nice: IUFM de Nice, Département Interdisciplinaire d'Études, de Recherche et de Formation.
- Shapin, S. & Barnes, B.** (1977). "Science, nature and control: interpreting Mechanics Institutes", *Social Studies of Science*, Vol . 7, 31-74
- Solsona, N.** (1997). *Mujeres científicas de todos los tiempos*. Ed.Talasa, Barcelona.
- Toulmin, S.** (1977). *La comprensión humana. Vol.1 El uso colectivo y la evolución de conceptos*. Madrid: Alianza Editorial
- Uribe, M. y Quintanilla, M.** (2005). Aplicación del modelo de Toulmin a la evolución del concepto de sangre en la historia de la ciencia. *Perspectivas didácticas, Actas del VII Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias*, Granada, España.

Capítulo 4

Hacia la construcción de un Sistema de Aula con actividades de aprendizaje orientadas al desarrollo del estudiante

Olga Malvaez, Alberto Labarrere, Leticia Sánchez

Contenido

- Resumen
- Introducción
- Marco teórico
- *Modelos didácticos en la construcción de un sistema de aula*
 - *Actividades de aprendizaje bajo un Modelo Didáctico basado en Resolución de Problemas (AAMRP)*
 - *Actividades de aprendizaje bajo un Modelo Didáctico Híbrido (AAMH)*
 - *Actividades de aprendizaje bajo un Modelo Didáctico basado en Reproducción y Memoria (AAMRM)*
 - *Demanda cognitiva en las actividades de aprendizaje*
 - *Actividades de aprendizaje con demanda cognitiva alta (AADA)*
 - *Actividades de aprendizaje con demanda cognitiva baja (AADB)*
- Metodología
 - *Descripción de los instrumentos*
- Resultados
 - *¿Cómo construyen los profesores y estudiantes su Sistema de Aula?*
- *Sistema de Aula promotor del desarrollo del estudiante*
 - *Consideraciones finales*
 - *Referencias bibliográficas*

Resumen

Pensar el aula de clase como un sistema con actividades de aprendizaje orientadas al desarrollo, representa una oportunidad para re estructurar el triángulo interactivo (estudiante(s)-profesor-contenido EPC), que alude el despliegue de acciones que el profesor y los estudiantes comparten en la sala de clases (Coll y Solé, 2002, García-Cabrero, Loredo y Carranza, 2008). Para caracterizar las actividades de aprendizaje que promueven tres profesores de ciencia de Enseñanza Media se propone un esquema de análisis con tres dimensiones: 1) Transparencia metacognitiva de los supuestos que guían el *qué*, el *para qué* y el *cómo* del procesos enseñanza-aprendizaje –evaluación; 2) El modelo didáctico en que se insertan las actividades de aprendizaje y 3) La demanda cognitiva implicada en el sistema. La relación entre estas tres dimensiones es independiente, es decir, cada una de ellas afecta y es afectada por las otras, por lo que se propone mirarlas de forma integrada. Se considera que un sistema de aula pensado en promover el desarrollo del estudiante está en condiciones de promover el potencial de los estudiantes que garantizará paulatinamente el protagonismo y autonomía requeridos en su trayecto escolar.

Palabras clave: sistema de aula, aprendizaje, desarrollo.

4.1 Introducción

Los resultados que se obtienen en los procesos educativos, sobre todo aquellos que son cuantificables (estándares–evaluaciones) dejan ver que hay una distancia considerable entre lo que debiera suceder en las aulas de clase y lo que realmente sucede. Al analizar esta ausencia de congruencia entre deseabilidad y realidad, suele ponerse en duda lo que pasa en las aulas, donde se presentan las limitaciones con que se enfrenta la enseñanza (e igualmente el aprendizaje de los estudiantes). Lo que nos remite a nuevas exigencias en educación, escuchamos, leemos y observamos, el imperativo que hay en que el estudiante construya su propio conocimiento, o en una aproximación acaso más avanzada co-construya, aludiendo así a la necesaria interacción entre aprendices y profesores (Malvaez y Labarrere, 2013; Sierra, 2010) exhortando de forma insoslayable la importancia de el protagonismo y autonomía que debe adquirir el estudiante bajo la tutela un pensamiento creativo y crítico a la vez.

Al igual que Solovieva y Quintanar (2010), se considera que los cambios curriculares en el aula seguirán siendo neutrales en el aprendizaje y desarrollo de los estudiantes, mientras no se dediquen los esfuerzos a comprender cómo profesores y estudiantes se conciben e interactúan para construir su sistema de aula y como se transparentan meta cognitivamente, los supuestos que rigen el sistema, esto es

el qué, cómo y el para qué de los procesos de enseñanza, aprendizaje y evaluación que contribuyen al desarrollo de los estudiantes.

El presente capítulo tiene como finalidad proponer un esquema de análisis para construir un sistema de aula que promueva el desarrollo de los estudiantes a través de un estudio de caso conformado por 3 profesores de ciencias, 2 de física y uno de química, de colegios de enseñanza media de la región metropolitana de Santiago. Los cuales respondieron un cuestionario de planos del desarrollo (Labbarrere y Quintanilla, 2002), se les hizo un seguimiento en un taller de 5 sesiones de reflexión docente acerca de la acción docente, se les observó 2 clases y se les realizó una entrevista. Se analizó por un lado el modelo didáctico y con ello las actividades de aprendizaje que forman parte del pensamiento del profesor al momento de reflexionar sobre su práctica y, además, aquellas que llevan a cabo en sus clases. De igual forma fue objeto de análisis la demanda cognitiva de esas actividades.

A partir del análisis de los datos, y una vez descritas las dimensiones anteriormente mencionadas, se dan algunas sugerencias para comprender la manera en que profesores y estudiantes construyen un sistema de aula que promueven el desarrollo de los estudiantes y fomentar dicha interacción.

4.2 Marco teórico

4.2.1 Modelos didácticos en la construcción de un sistema de aula

El modelo didáctico a través del cual se muevan las actividades de aprendizaje, ofrece luces acerca de cómo el profesor concibe el aprendizaje, la enseñanza y la evaluación (Angulo, 2002; Zimmerman, 2006). Por modelo didáctico se entiende un marco teórico y metodológico que contempla los principios disciplinares, conceptos que el profesor promueve en el proceso enseñanza-aprendizaje-evaluación de la ciencia escolar, donde los supuestos *qué, cómo, y para qué* obedecen a fundamentos psicológicos, epistemológicos y socio-pedagógicos, como lo enuncia Angulo 2002, (finalidad, contenidos, comunicación, actividades, secuenciación, recursos y las relaciones específicas entre los elementos).

El modelo didáctico es una representación del proceso interactivo de todos los elementos que conforman el acto y la actividad formativa, en determinadas condiciones, que permite a la vez, tener una imagen de los procesos implicados, investigarlos y realizar acciones encaminadas a su transformación.

4.2.2 Actividades de aprendizaje bajo un Modelo Didáctico basado en Resolución de Problemas (AAMRP)

Actuando bajo este modelo, el profesor motiva al estudiante y lo desafía cognitivamente mediante la resolución de problemas que le permiten construir, transformar y reestructurar los conocimientos. La solución de problemas, a partir de acciones que se realizan en los tres planos del desarrollo, aparece relativamente equilibrada en la medida en que los procesos y la orientación de los sujetos "transita" de un plano a otro. (Labarrere y Quintanilla, 2002).

El profesor promueve ocasiones para que los estudiantes vayan progresando ante situaciones que le presentan nuevos problemas, de tal forma que las oportunidades para el desarrollo que ofrecen las actividades de identificación, formulación y solución de problemas, se van encadenando. (Piaget, 1978). El conocimiento no se recibe como algo ya hecho sino que se construye o co-construye, y es fruto de la interacción del sujeto con lo que lo rodea, cuyas propiedades va descubriendo (Delval, 2000). Puede ser visto, además, como una interacción del estudiante con los problemas y situaciones que enfrenta y con las acciones de ayuda, guía o andamiaje, que diseñan e implementan los profesores. En esta perspectiva, se incluyen actividades de investigación, el diálogo con sus compañeros y profesores que fomenten la toma de sentido de la materia, la exposición a múltiples fuentes de información, y oportunidades para que los estudiantes demuestren su conocimiento de diversas maneras (Díaz, 2011; Gordon, 2009).

Este modelo suele basarse en los principios del aprendizaje significativo, por lo que no es verbalista y asume la incorporación sustantiva del nuevo conocimiento dentro de la estructura cognitiva, de producción creadora, con esfuerzos deliberados por relacionar el nuevo conocimiento con conceptos de orden superior, más amplios dentro de la estructura cognitiva, se buscan también relaciones con hechos u objetos de la experiencia, y los conocimientos previos (Novak, 2000). Donde la interacción se estructura en torno a los problemas, su planteamiento y solución y donde, además, existe la transparencia metacognitiva (Labarrere, 1997).

4.2.3 Actividades de aprendizaje bajo un Modelo Didáctico Híbrido (AAMH)

Una concepción del aprendizaje en ciencias, que aunque busca movilizar el esfuerzo y la potencia cognitiva del estudiante, lo hace fundamentalmente a través de situaciones y actividades comandados por el profesor, el estudiante participa bajo la tutela de este y el avance a través de las situaciones depende en buena medida de la acción del profesor, que suele aparecer como un estímulo que se mantiene (sostiene) la acción cognitiva de los estudiantes.

Un modelo híbrido, por lo común combinan metodologías, es decir, se combina el planteamiento de problemas que presagian situaciones de alto nivel de demanda cognitiva, o de inclusión personal, pero que al final se diluyen a partir de que el profesor interviene, ofreciendo ayudas (andamiajes) de naturaleza tal que disminuyen o eliminan la necesidad de esfuerzo cognitivo y retrotraen la acción del estudiante al componente instrumental. En tales situaciones, la transparencia metacognitiva está invisibilizada, esto es los supuestos del qué, cómo y para qué no son claros ni puestos en común entre los interlocutores. Se puede hablar desde una postura que se dice constructivista, e incluso diseñarse algunas situaciones que recuerdan esta orientación, y sin embargo las metodologías y procedimientos predominantes son tradicionales y el profesor continúa comandando las acciones. (Mortimer, 2002).

Sin embargo, respecto a un modelo completamente tradicional., este se diferencia porque se vislumbra intentos de incorporar los sentidos y significados del estudiante, se habla y piensa en el estudiante, aunque la predominancia autoritaria del profesor en la clase siga al frente de los procesos, conduciendo, incluso las metodologías, acciones y finalidades, supuestamente orientadas a generar desarrollo en los estudiantes. El sistema híbrido es algo así como un *medio camino* donde propósitos se desdibujan en la acción. El problema radica en hasta donde conduce el desarrollo de los estudiantes.

4.2.4 Actividades de aprendizaje bajo un Modelo Didáctico basado en Reproducción y Memoria (AAMRM)

Las actividades en el aula tienden al enciclopedismo, plantean el contenido con escasos razonamientos y escasa o nula relación con los problemas sociales (Candela, 2005). Una tendencia a convertir los contenidos disciplinares en contenidos de enseñanza. Clases magistrales donde el profesor habla la mayor parte del tiempo de clase, transmite y repite la teoría que hay en los libros de texto (Porlán & Martín Toscano, 1994).

Preponderancia de la interacción en el plano instrumental operativo, en virtud de lo cual sólo se da importancia al método, las estrategias, los instrumentos del proceso de enseñanza-aprendizaje-evaluación, los esfuerzos se canalizan y centralizan en el producto, acumulación de contenido, para aprobar; considera a los estudiantes como receptores pasivos de información; acciones que promueven sobre todo el aprendizaje individual, considerando un modelo de evaluación que controla, selecciona, clasifica y sanciona (Labarrere y Quintanilla, 2002), lejos de aportar datos para tomar decisiones informadas sobre el proceso de la clase, se centra en medir las capacidades de los estudiantes, casi siempre todas aquellas que refieren a la memoria (Labarrere, 2000; Porlán & Martín Toscano, 1994).

Se promueve el aprendizaje mecánico, se caracteriza por actividades que en su mayoría incluyen acciones verbalistas, no se observan esfuerzos por incorporar el nuevo conocimiento, ni se buscan relacionarlo con los conocimientos previos, experiencias, hechos u objetos, por considerar el contenido a enseñar como exclusivamente conceptual y acumulativo (Novak, 2000; Porlán & Martín Toscano, 1994). Donde los intentos por reproducción directa mediante la memorización y el aprendizaje receptivo predominan; la transparencia metacognitiva está ausente.

4.2.5 Demanda cognitiva en las actividades de aprendizaje

La demanda cognitiva será entendida dentro de la presencia de las interacciones que se promueven en el aula y cómo ésta modifica las potencialidades de los sujetos (García, 2000; Mourshed, *et al.*, 2012). Indicador de demanda cognitiva (alta) es un contexto o situaciones de aprendizaje con alta densidad en planteamiento de problemas que vayan ganando en complejidad para generar niveles crecientes de dificultad, que deben repercutir en el desarrollo de los estudiantes, tanto en el plano intelectual (desarrollo de trama cognitiva y aprendizajes significativos), como en el afectivo valorativo y de la disposición a interactuar con cargas cognitivas altas, sin experimentar frustraciones o abandono de las situaciones de alta complejidad, que requieren de persistencia y disposición.

4.2.6 Actividades de aprendizaje con demanda cognitiva alta (AADA)

Mediante el planteamiento de interrogantes y problemas el maestro/a convoca a que los niños/as piensen y manifiesten su razonamiento, retoma sus preguntas y las devuelve al grupo, para que reflexionen sobre ellas y busca que ellos elaboren sus propias contestaciones. Los y las hace sentir que también es responsabilidad de ellos encontrar solución a los problemas (Candela, 2005) e igualmente identificarlos y formularlos con lo cual se alcanzan niveles altos en la actividad cognitiva de los estudiantes.

Las clases con demanda cognitiva alta suele observarse la confrontación y la argumentación entre puntos de vista por parte de los alumnos/as. (Candela, 2005; Mourshed, *et al.*, 2012). Los contextos de alta demanda cognitiva, habitualmente ofrecen la posibilidad de imaginar, de elaborar explicaciones posibles con base en las propias ideas y validan el proceso de razonamiento y de argumentación. En ellos, los docentes por lo común solicitan pruebas de las explicaciones que los niños/as elaboran, al convocarlos a desarrollar una actitud de validación y argumentación de sus afirmaciones (Candela, 2005). En esta categoría se identifican el proceso y la fuente que requieren los estudiantes a quienes se dirige el maestro, durante las actividades que se diseñan para los diferentes episodios de la clase, la demanda implica que el estudiante formule sus respuestas, con generalizaciones a partir de la información disponible, e implica un análisis/explicación, además

requiere elaborar sus respuestas por medio de especulaciones informadas (que no fueran meras suposiciones) (Wells, 2005).

4.2.7 Actividades de aprendizaje con demanda cognitiva baja (AADB)

Se entiende demanda cognitiva baja cuando en las actividades de aprendizaje, se pide al estudiante la simple actualización de conocimientos anteriores o memoria, es decir sólo requiere recordar algo ya muy sabido, o que se alcanza a partir de información actualizada de forma inmediata, sin reelaboración ni problematización por parte del estudiante, el cual solo tiene que acudir a la información ofrecida por el profesor anteriormente, o por los libros de texto u otras fuentes (Wells, 2005)

Cuando se hacen presente en el aula actividades de aprendizaje con demanda cognitiva baja, se inhibe la movilidad del pensamiento del estudiante, el cual se encuentra en estado de pasividad y receptividad al contenido sin involucrarse, cuestionarlo o explorarlo. Por lo tanto recibe el contenido proveniente del profesor y libros de texto, como los únicos referentes que hay que almacenar para usarlos en los exámenes.

4.3 Metodología

Para caracterizar las actividades de aprendizaje que promueven los profesores de ciencia de Enseñanza Media se realizó un estudio de corte cualitativo interpretativo, en el cual fue analizado el discurso de 3 profesores (casos), 2 de física y uno de química. A través del software científico Atlas ti 6.0, se identificaron, en el discurso de los profesores, las dimensiones propuestas para el análisis.

Los datos fueron generados a partir de 6 momentos (ver tabla. 1):

- Responder cuestionario (C_);
- Sesiones de talleres de reflexión docente donde se obtuvo las transcripciones de las reflexiones grupales (RG_);
- Reflexiones individuales a través de composiciones escritas (RI_);
- Observación 1 de clase (O1_);
- Entrevista (E_); y
- Observación dos de la clase 2 (O2).

Se emplearon 4 instrumentos:

- a) Un cuestionario;
- b) Entrevista clínica semiestructurada;
- c) Pauta de observación y
- d) Composiciones escritas.

Tabla 1
Momentos del diseño metodológico

Momento estudiado	Instrumento o técnica	Tipo de análisis
1. Aplicación cuestionario (C)	Cuestionario	Análisis de contenido
2. Taller de Reflexión Grupal (RG)	Discusión teórica	Análisis del discurso
3. Reflexión Individual en Taller (RI)	Composiciones escritas	Análisis de contenido
4. Primera Observación de clase (O1)	Pauta de observación videograbación	Análisis del discurso
5. Entrevista (E)	Entrevista Clínica	Análisis del discurso
6. Segunda Observación de clase (O2)	Pauta de observación videograbación	Análisis del discurso

4.3.1 Descripción de los instrumentos

a) *Cuestionario*

El cuestionario aplicado se compone de 2 secciones. La primera comprende 3 dimensiones (enseñanza, aprendizaje, evaluación de determinada noción científica). La segunda también contiene 3 dimensiones (Concepción de desarrollo, promoción del desarrollo en el proceso de enseñanza-aprendizaje; y Evaluación del desarrollo). Cada sección contempla 3 categorías, las cuales provienen de los Planos del Desarrollo propuestos por Labarrere y Quintanilla (2002): Instrumental Operativo (IO), Personal Significativo (PS), Relacional social (RS).

El cuestionario tiene, en total, 23 enunciados que expresan diferentes situaciones en el proceso de enseñanza, aprendizaje y evaluación. El docente manifiesta su grado de preferencia entre los enunciados. En cada pregunta se le solicita que argumente su selección. Las respuestas dadas en esta sección, son las que fueron consideradas para el análisis de esta comunicación.

b) *Entrevista clínica semiestructurada*

La entrevista de acuerdo a Flick (2004) se caracteriza como clínica, por buscar profundizar y explorar algunos conceptos e ideas provenientes de los instrumentos precedentes (cuestionario, pauta de observación, transcripciones de los talleres). Contiene datos generales del profesor y está organizada en dos fases; la primera que explora, problematiza y permite que el profesor refiera cómo se dan los procesos reflexivos en y sobre los supues-

tos *qué, cómo y para qué*, que guían, orientan y dan sustento al proceso enseñanza-aprendizaje-evaluación (E-A-E) en su práctica. Y la otra dedicada a conocer sus concepciones acerca del desarrollo, la relación que tiene con el aprendizaje y la evaluación, los factores que se involucran en la promoción el desarrollo en el aula, el rol que deben jugar los actores en el aula, cómo se promueve en el aula, la relación que tiene para él el monitoreo y las interacciones que se dan de forma natural en la misma.

c) *Composiciones escritas*

Durante cada sesión en los talleres de reflexión docente (5 sesiones) los profesores respondían dos dispositivos uno de carácter reflexión teórico, considerado como resolución de la tarea y otro de evaluación respecto al proceso de intercambio suscitado en las sesiones.

4.4 Resultados

Para representar las caracterizaciones de cada una de las dimensiones propuestas para el análisis, se categorizó el discurso oral (E, O1, O2, RG) y escrito (C, RI,) de los profesores, donde se registraron las frecuencias de aparición de cada uno de las dimensiones, mostradas en la Fig. 2.

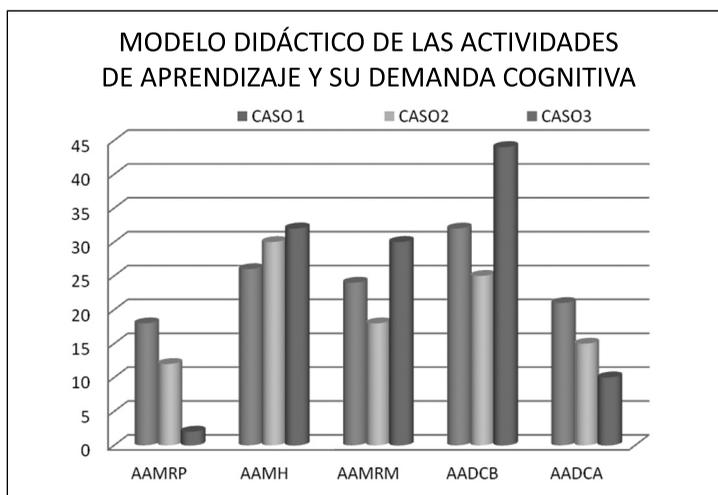


Figura 1: Modelo didáctico de las actividades de aprendizaje y la demanda cognitiva implicada

Si observamos la figura 1, notamos diferencias en las apariciones de las dimensiones de las actividades de aprendizaje de cada uno de los casos, por ejemplo el caso 1 presenta mayores frecuencias en actividades de aprendizaje basada en la reso-

lución de problemas con demanda cognitiva alta, por otro lado el caso 3, presenta menos frecuencias en ambas categorías y tiene el mayor número de frecuencias en actividades de aprendizaje basadas en un modelo híbrido y con demanda cognitiva baja.

Para explorar con más detalle lo anterior se decidió separar las frecuencias de acuerdo a los momentos que se distinguen por mostrarnos lo que el profesor dice (C, RG, RI, E) de lo que hace (O1 y O2).

Para los casos 1 y 2, tenemos un comportamiento similar en el movimiento de las frecuencias (ver Fig. 2 y 3), la línea continua nos muestra la tendencia general de las categorías en su discurso hablado-escrito y la línea discontinua lo que hace en clase; se evidencia una clara diferencia entre cada uno de esos aspectos, mientras existe un número alto de apariciones en la categoría de actividades de aprendizaje basado en la resolución de problemas en comparación con los otros casos, sin embargo, en el aula no se encontraron evidencias de la presencia de dichas actividades. Igualmente ocurre con la otra categoría también aludida con anterioridad, la cual presenta un número de frecuencia mayor que el resto, esto es demanda cognitiva alta en las actividades de aprendizaje, sin embargo, en las clase observadas no se encontró evidencia significativa de tales actividades y contrariamente, se observaron actividades propias de un modelo más tradicional de reproducción y memoria, con demanda cognitiva baja, cuyas frecuencias de aparición en lo que hacen el aula incrementan considerablemente en comparación a lo que se encuentra en sus declaraciones.

La única categoría que tiene presencia en ambos momentos (dice-hace) es el modelo híbrido, esto es el profesor habla de algunas actividades que refieren al modelo híbrido y en la clase se hacen presentes.

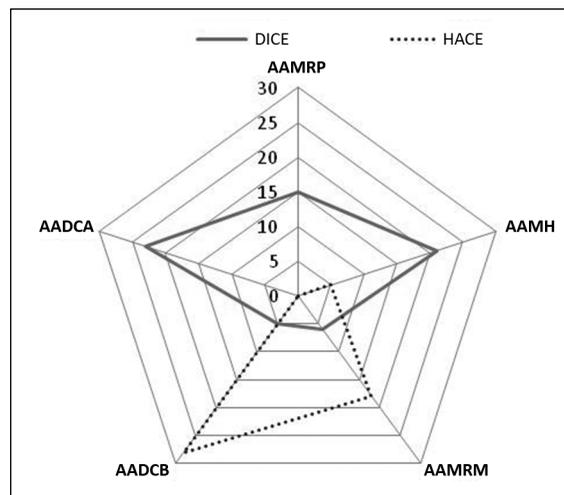


Figura 2: Dimensiones de las Actividades de aprendizaje - Caso 1

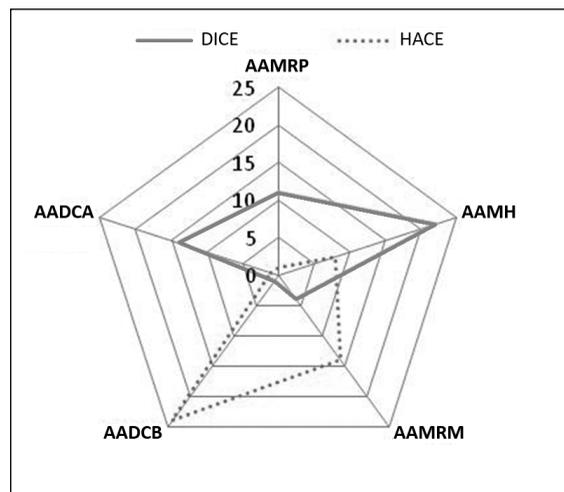


Figura 3: Dimensiones de las Actividades de aprendizaje - Caso 2

En cambio en el caso 3 (ver Fig. 4), observamos que en el discurso aparecen mayores declaraciones hacia un modelo híbrido, no hay referencia ni en el discurso ni en la práctica a elementos que nos permita pensar que el/la profesor(a) habla poco de actividades basadas en un modelo de resolución de problemas y desde actividades con demanda cognitiva alta, y al igual que los casos restantes, no se encuentran elementos que refieran que se promueve en la clase. Por otro lado, el/la profesor(a), a diferencia del resto habla de un modelo de reproducción y memoria y en las clases se evidencia; habla de actividades de baja demanda cognitiva

y que se hacen presentes en la clase. Igualmente, habla desde un modelo Híbrido, el cual se puede constatar en el desarrollo de las clases.

Si observamos la Fig. 4, notamos menor distancia entre las figuras que se dibujan al contabilizar las frecuencias de aparición, pareciera que la Fig. 4 entra en cierta convergencia con lo que se dice y lo hace en categorías referidas a las actividades de aprendizaje basadas en un modelo híbrido y actividades de aprendizaje con demanda cognitiva baja.

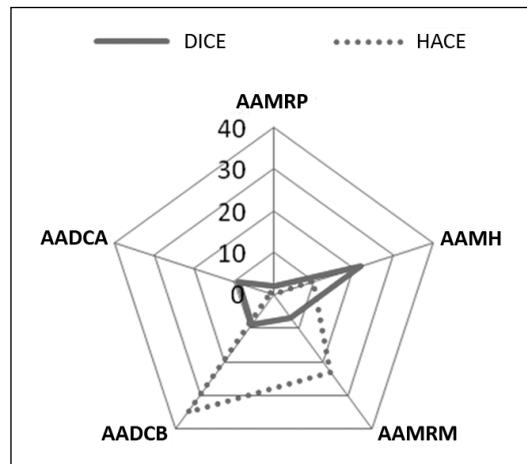


Figura 4: Dimensiones de las Actividades de aprendizaje - Caso 3

Los profesores de este caso en general presentan en su discurso y en la sala de clase un mayor número de frecuencias en la categoría actividades de aprendizaje bajo un modelo híbrido, en el cuál encontramos uno de los mayores obstáculos para poder generar transparencia metacognitiva relativa a los supuestos subyacentes en el *qué*, el *cómo* y el *para qué*, no por ello declaramos que no se pueda lograr, sin embargo, en el modelo híbrido encontramos combinaciones entre supuestos tradicionales centrados en el contenido y supuestos ingenuos en lo que respecta a la construcción de conocimiento que transcurre bajo la batuta del profesor, orientando a los estudiantes a partir del supuesto de que no están suficientemente maduros para el aprendizaje independiente, o porque provienen de contextos desfavorables, o bien porque el profesor tiene que modelar el pensamiento del estudiante. Lo cual podemos ejemplificar en las siguientes frases:

P: [E_5:5 (84:84)]... "Ahora hay como un fenómeno como bien extraño acá, que es que todos estos niños dada /la condición social el contexto donde ellos se encuentran carecen de estructura, carecen totalmente de estructura, sus familias están desestructuradas, su entorno, su medio ambiente, todo, todo está desestructurado, entonces yo, profesor, tengo que ordenarles dando esa estructura, por eso yo siempre les entrego guías bien estructuraditas que él tenga que poner solo el resultado, de esa forma los voy ordenando... [RG_2:2 (13:13)] Como que no hay una buena actitud hacia la asignatura, disposición, motivación... 3. [RG_2:5 (25:25) Yo estoy de acuerdo con lo que se dice, yo creo que a veces el sistema nos determina las formas nos hace que nosotros trabajemos más en el aula con el método conductista que en el constructivista (Caso 3).

P: [RG_2:4 (50:50)] Cuando lo importante esté en verificar como el profesor está modelando el pensamiento de los estudiantes, cómo está trabajando los procesos de comprensión, pero hay dudas de si todo está en el profesor, porque hay estudiantes que tienen muchas situaciones contextuales que no permiten que el profesor logre los objetivos... [RG_2:16 (127:127) ...yo creo que el alumno tiene que aprender a diferenciar estas dos cosas, yo creo que la clave aquí como decía es tratar con ejemplos y contraejemplos que LE PERMITA IR BOTANDO TODOS LOS PENSAMIENTOS QUE TENGAN digamos (.3) / hasta que finalmente ya se quede con (.) esta ambivalencia ...[RG_2:19 (152:152) En el fondo la parte experimental es un medio (Caso 1).

P: [RG_2:1 (18:18) Cuando explico geometría molecular, uno le da ideas y vueltas y le mete trata de que el chico piense en función espacial y cuando le pides que pase a la pizarra y lo primero que hace es un triángulo algo de dos dimensiones, me doy cuenta que quedó la escoba o sea me doy cuenta que cada uno entendió lo que quiso cada uno se fue por su lado, por ejemplo, de hecho lo que yo tenía acá como algo que me pasa con un concepto súper puntual que es la geometría molecular (Caso 2).

Si pudiéramos hacer un análisis general podríamos decir que el caso 3, es una profesora con un sistema de aula más alejado a lo que consideramos una construcción de un sistema de aula que promueve el desarrollo de los estudiantes. Sin embargo, no deja de llamarnos la atención, si observamos detenidamente la figura 5, que se puede hablar de un discurso con mayor congruencia, en comparación con los otros discursos, elemento no menor para la construcción de un sistema, relacionado a la primera dimensión de este análisis, es decir, si la profesora tiene claridad y coherencia en sus propósitos del *qué*, *cómo* y *para qué*, es muy probable que la transparencia metacognitiva tenga mayor fluidez hacia el resto de las dos dimensiones, imaginando el esquema propuesto en la Fig. 1: la profesora habla de

las actividades en el aula que se centran en el contenido enciclopédico, con poca posibilidad para que el estudiante dialogue e intervenga protagónicamente en la construcción del conocimiento, generando condiciones para que el estudiante aprenda es realizando experimentos sencillos. En su forma de pensar y actuar, parece imperar la convicción de que ella debe de organizar las actividades porque los estudiante no tienen las condiciones requeridas para poder responsabilizarse de sus aprendizaje. Ella cree que los estudiantes aprenderán si se les entrega guías de estudio, respondiendo preguntas y memorizando el contenido.

P.: O1_4:5 (107:147)... "¿Tienen su guía de la semana pasada? (les pide que la saquen).

A.: Sí.

P.: Una que sea...ésta...la primera parte solamente...la primera hojita, la primera página...aquí teníamos simplemente vectores...no eran vector posición, ni vector velocidad, nada de eso...son simplemente vectores... y teníamos que ubicar en cada uno de los trazos la magnitud, la dirección, y el sentido... ¿sí o no? Son 3 características distintas...la magnitud la midieron con la regla ustedes en ese instante, y ahí les dio en el primer trazo para el vector A que eran 16 centímetros...el vector A está así ¿Cuál es la dirección del vector A?

A.: Horizontal.

P.: Horizontal es una buena alternativa, una buena opción...una respuesta correcta... ¿cuál podría ser aparte de horizontal?

A.: En el eje X.

P.: En el eje X... ¿y cuál más podría ser?

A.: Este-oeste.

P.: Este-oeste...tal cual...y cuando me hablan ahora de sentido de ese vector, que es hacia allá, podría ser...

A.: Hacia la derecha... positivo.

P.: Hacia la derecha, positivo, o...

A.: Hacia el este.

P.: Hacia el este, ¿cierto? / Simplemente cuando yo digo dirección estoy hablando de la línea...en qué línea está ubicado el vector... cuando yo hablo del sentido, tengo que decir hacia adonde apunta la puntita de la flecha, ya?...si es hacia la izquierda, si es hacia la derecha, arriba, abajo...dependiendo como se use...entonces como estos...magnitudes vectoriales tienen 3 características, yo tengo que identificar esas 3 características en el resultado...yo tengo acá...esa X con una flechita arriba, que significa?

A.: El vector... X.

P.: Ya, acuérdense que le llamábamos vector X al vector posición, porque siempre los movimiento que le damos van a ser en el eje X. Podrían anotar esto para que no se les olvide. Anoten ahí en la hojita que ese es el vector posición...y yo en ese vector posición tengo que identificar las 3 características que tienen los vectores... tengo que identificar las 3 características que tienen los vectores... ¿cuál es la magnitud acá?

A.: 50.

P.: 50... ¿cuál es la dirección?

A.: (Murmullo)...X

P.: X... para que nosotros sepamos que se mueve en el eje...

A.: X.

P.: X... ¿y cuál es el sentido?

A1: Derecha.

A2.: Positivo.

A.: Si, derecha.

P.: ¿Dónde está el sentido? El sentido está ahí miren...ahí está el sentido... para esto es el circulito... si es positivo es porque se mueve hacia la...

A.: Derecha.

P.: Derecha, y si es negativo se mueve hacia la...

A.: Izquierda.

P.: Izquierda... pregunta... ya que ustedes no la hacen lo pregunto yo... ¿y si yo quiero que el negativo sea para la derecha lo puedo decidir así?

A.: No.

P.: ¿Lo puedo decidir así, o no?

A.: No.

P.: ¿Por qué no? ¿Por qué no lo puedo decidir así? ¿Y si yo quiero que el negativo sea para arriba? ¿Puedo decidirlo de esa forma?

A.: Si.

P.: Si, se puede decidir de esa forma... el sistema de referencia depende de usted... todo movimiento, todo estudio del movimiento depende de la persona que lo esté mirando, y si yo decido que el negativo es para la derecha y el positivo para la izquierda, lo puedo decidir de esa forma... ahora, para que todos hablemos en un mismo lenguaje... para que no me compliquen para revisar las pruebas... vamos a decir que positivo es para la derecha, negativo es para la izquierda, positivo arriba, negativo abajo... entonces que sería el sentido?

A.: Positivo.

P.: Positivo, o sea que significa que se mueve o se encuentra a la derecha del sistema de referencia... /¿qué está abajito?

A.: Vector.

P.: Vector que...

A.: (Murmullos).

P.: ¿Vector? Vector velocidad (.10)."

4.4.1 ¿Cómo construyen los profesores y estudiantes su Sistema de Aula?

Para hablar de sistema, hay que referir los principios de organización y operación que regulan, crean, construyen, re-construyen y transforman estructuras, que van permitiendo la persistencia de su funcionamiento (López, 2003). Traduciendo lo anterior el sistema de aula, se concibe como un todo con alto nivel de integración y acción coherente, con momentos o estados de discordancia, contradicción, ya sea entre los sujetos que lo conforman, los contenidos, las acciones, etc., orientado a producir efectos sustanciales de reestructuración. Se asume que un sistema de aula debe, normativamente, estar orientado hacia lo que Labarrere en su momento (2000) identificó como aprendizaje para el desarrollo. Así, para que el sistema contribuya en la conformación y sinergia de la co-construcción de estructuras, se requiere hablar desde una lógica del desarrollo, pensando en un sistema de aula que busque potencializar el aprendizaje de los estudiantes, considerando su potencial real, y el potencial máximo que conviven en las interacciones dentro del sistema, todo en ello en el marco de transparentar en el proceso los supuestos que subyacen en el *qué, para qué, y cómo* del proceso enseñanza-aprendizaje-evaluación, bajo un modelo de resolución de problemas, con actividades de aprendizaje que incentiven altas demandas cognitivas, y permitan paulatinamente generar la autonomía de los estudiantes para proyectarse hacia más complejos sistemas de aula.

Por lo tanto, la noción de sistema de aula nos lleva hasta los *qué, cómo y para qué* de las acciones, interacciones e intencionalidades de los sujetos, aspectos que subsumen los procesos de enseñanza-aprendizaje-evaluación, el conocimiento por parte de sujetos de los supuestos del *qué, cómo y para qué* del proceso (Brunner, 1998; Labarrere, 2012; Patiño, 2007), propiciando el desarrollo a través de ese modelo de enseñanza-aprendizaje-evaluación, basado en la resolución de problemas, con actividades que movilicen una alta demanda cognitiva de los participantes, quienes paulatinamente van reduciendo las distancias entre lo que son capaces de hacer con la ayuda, la guía, la colaboración de otros y lo que pueden alcanzar en interacción protagónica en el proceso.

Para tener mayor claridad de lo expresado anteriormente, se ha diseñado un esquema que permita ejemplificar de forma gráfica lo que proponemos para analizar el sistema de aula que promueve el desarrollo de los estudiantes [DE] (ver figura 5). Luego entonces el sistema de aula estaría configurado por tres esferas:

1. *Transparencia metacognitiva* de los supuestos que guían el *qué*, el *para qué* y el *cómo* del procesos enseñanza-aprendizaje –evaluación (En-A-Ev) entre el triángulo interactivo expresado en la interacción (E↔P↔C);
2. Modelo didáctico de las actividades de aprendizaje (AA): a) Modelo basado en resolución de problemas (MRP); b) Modelo didáctico híbrido (MH), y c). Modelo didáctico basado en Reproducción y Memoria (MRM) y
3. La demanda cognitiva de las actividades de aprendizaje en la interacciones del proceso: a. Actividades de aprendizaje con demanda cognitiva alta (AADCA) y b. Actividades de aprendizaje con demanda cognitiva baja (AADCB).

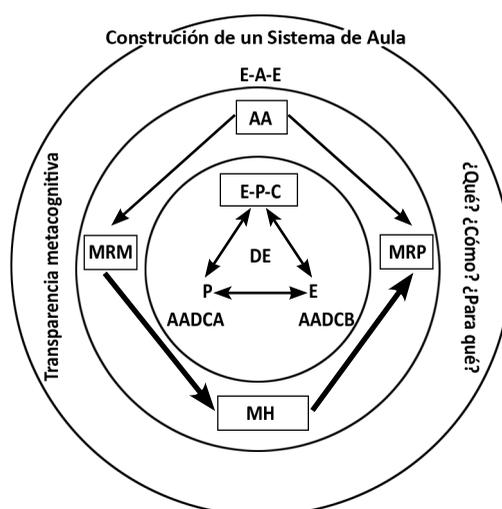


Figura 5: Construcción de un sistema de aula

4.4.2 Sistema de Aula promotor del desarrollo del estudiante

El sistema de aula desde nuestra propuesta integraría en el proceso de enseñanza-aprendizaje-evaluación las siguientes consideraciones:

1. Desde la concepción subyacente, un sistema de aula verdaderamente orientado y promotor del desarrollo, es aquel donde las finalidades de desarrollo orientan el proceso de manera explícita. Esto es, los esfuerzos y las actividades didácticas están organizados buscando la ocurrencia de modificaciones estructurales relativamente profundas, que pongan a los sujetos (funda-

mentalmente los estudiantes, aunque no únicamente) en condiciones de enfrentar, resolver, identificar y formular independientemente situaciones y problemas de disímil complejidad; además, un sistema de aprendizaje orientado al desarrollo, se preocupa porque los estudiantes conozcan los qué, cómo, por qué y para qué de los aprendizajes, de las acciones, de las modalidades de interacción (transparencia metacognitiva).

2. De manera normativa y a partir de lo anterior, un sistema promotor del desarrollo se preocupa porque los estudiantes se apropien de los instrumentos y mecanismos que promueven el aprendizaje (y el propio desarrollo) poniéndolos en una posición que les permita intervenir activamente en el (su) aprendizaje y el de sus compañeros.
3. Las actividades de aprendizaje consideran los intereses de los estudiantes, promoviendo y mostrando explícitamente la relevancia de las actividades, buscando la incorporación de los participantes en la construcción, re-construcción y co-construcción del conocimiento, como vía para interpretar y adaptarse a su mundo inmediato (Brunner, 1988; Díaz, 2011; Leymonié, *et al.*, 2009; Ortiz, 2010; Pozo, 1999; Vigotsky, 1984).
4. Las actividades de aprendizaje permiten al estudiante observar y analizar los fenómenos, desde perspectivas diferentes y la toma de decisiones ante los problemas. Igualmente poner en movimiento sus concepciones, elaborar sus estrategias de resolución (incluyendo, en su caso, diseños experimentales) para contrastar las hipótesis, a la luz del cuerpo de conocimientos de que disponen, facilitando la emergencia de referentes alternativos a la palabra del maestro/a o a los textos escritos. (Brunner, 1998; Candela, 2005; Díaz, 2011; Khol, 1996; Latorre, 2002; Leymonié, *et al.*, 2009; Ortiz, 2010; Pozo y Monereo, 1999; Salas, 2009; Vigotsky, 1984).
5. La invención de conceptos y emisión de hipótesis (ocasión para que las ideas previas sean utilizadas para hacer predicciones susceptibles de ser sometidas a prueba), buscando explicaciones plausibles y coherentes sobre los fenómenos naturales intercalando el trabajo individual y colectivo, incentivando la discusión del interior al exterior que puedan interiorizarse nuevamente (Latorre, 2002; Ortiz, 2010; Salas, 2009).
6. La resolución de problemas y el análisis de los resultados, se realiza bajo el cotejo con los obtenidos por otros grupos de estudiantes y por la comunidad científica. Ello puede convertirse en ocasión para que el estudiante cuestione sus ideas y las de sus compañeros, las del texto e inclusive las del profesor entre distintas concepciones (tomadas todas ellas como hipótesis), obligar a concebir nuevas conjeturas y a replantear la investigación, promo-

viendo debates con diálogos auténticos que construyan conocimiento, reconstruyan ideas, modelos (Brunner, 1998; Díaz, 2011; Candela, 2005; Khol, 1996; Leymoné, 2009; Salas, 2009; Vigotsky, 1984).

4.5 Consideraciones finales

Un sistema de aula se construye bajo una enseñanza que emplea el modelo de resolución de problemas con actividades que consideran al sujeto y las interacciones entre los sujetos como eje principal de la reestructuración de conocimiento lo cual incentiva y motiva la autoconfianza de los participantes para protagonizar y empoderarse de los procesos que de forma autónoma irá transformando (Fariñas, 2009; Labarere, 2003; Leymoní, 2009; Pozo, 2006; Vigotsky, 1984).

Consideramos que un sistema de aula debe permitir además, como es el caso de los estudios reseñados en el compendio elaborado por PREAL (Cueto, 2006), proporcionar y ampliar ricas experiencias, creando contextos donde los estudiantes puedan trabajar en grupos pequeños, resolviendo problemas de alta dificultad, que impliquen involucrarse protagónicamente en su aprendizaje, poniendo a prueba sus conocimientos y construyendo con el otro. Igualmente, un sistema de aula sustentado y orientado hacia el desarrollo de los estudiantes, los hace intervenir protagónicamente en los hechos relativos a su propio aprendizaje y sobre todo, los involucra decisivamente en el (su) propio desarrollo.

Referencias bibliográficas

- Abd-El-Khalick, F. & Lederman, G.** (2000). Improving science teachers conceptions of the nature of science: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665 – 701.
- Angulo, F.** (2002). Aprender a enseñar ciencias: Análisis de una propuesta para la formación inicial del profesorado de secundaria, basada en la metacognición. (Disertación Doctoral no publicada). Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra; España.
- Bruner, J.** (1988). Desarrollo cognitivo y educación. Madrid: Morata. pp. 7-278.
- Candela, A.** (2005). Aportes de la Investigación Educativa y Retos Actuales de la Enseñanza de la Física. *Sinética*, 27, pp. 1-12 Disponible en Internet: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=99815895017>. ISSN.
- Coll, C. y Solé, I.** (2002). Enseñar y aprender en el contexto de aula. En C. Coll; J. palacios y A. Marchesi (Comps.), *Desarrollo psicológico y educación 2. Psicología de la educación escolar* (pp. 3757-386). Madrid: Alianza.
- Cueto, S.** (Ed). (2006). Educación y brechas de equidad en América Latina. Tomo I. Santiago: PREAL, pp. 7 – 249.
- Díaz, A., Arias, G. y Pérez, A.** (2011). La Construcción De Textos Orales Y Escritos En La Escuela Primaria. Propuesta De Enseñanza-Aprendizaje, Desde Una Concepción Desarrolladora. Cuba: educación cubaba. p.p 1-69.
- Delval, J.** (2000) Aprender en la vida y en la escuela. Madrid: Morata. pp. 8-126.
- Díaz, A., Arias, G. y Pérez, A.** (2011). La Construcción De Textos Orales Y Escritos En La Escuela Primaria. Propuesta De Enseñanza-Aprendizaje, Desde Una Concepción Desarrolladora. Cuba: Educación cubaba. p.p 1-69.
- Fariñas, G.** (2009). el enfoque histórico cultural en el estudio del desarrollo humano: para una praxis humanista. *Revista Electrónica Actualidades Investigativas en Educación*, 9, pp. 1-23 Consultada el 18/07/2012 en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=44713052002>.

- Flick, U.** (2004). *Introducción a la Investigación Cualitativa*. Madrid: Ed. Morata
- Furió, C. y Carnicer, J.** (2002). El desarrollo profesional del profesor de ciencias mediante tutorías de grupos cooperativos. Estudio de ocho casos. *Enseñanza de las ciencias*, 20(1), 47-73.
- García-Cabrero, B., Loredó, J. y Carranza, G.** (2008). Análisis de la práctica educativa de los docentes: pensamiento, interacción y reflexión. *Revista Electrónica de Investigación Educativa, Especial*.
- García, J.** (2000). Fundamentos para la construcción de un modelo sistémico de aula. En Porlán, R., García, E., Cañal, P. (2000). *Constructivismo y enseñanza de las ciencias*. España: Díada editorial. p. 7-201.
- Guisasola, J. y Morentin, M.** (2010). Concepciones del profesorado sobre visitas escolares a museos de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 28(1), 127-140.
- Gordon, M.** (2009). The misuses and effective uses of constructivist teaching. *Teachers and Teaching: theory and practice*, 15 (6), 737-746.
- Kohl, M.** (1996). Pensar la educación: las contribuciones de Vigotsky. En Castorina, J., Ferreriro, E., Kohl, M., Lerner, D. *Piaget-Vigotsky: contribuciones para replantear el debate*. Buenos Aires: Paidós educador. p. 9-139.
- Labarrere, A.** (1997). Aprendizaje... ¿Que le oculta la enseñanza?, Siglo XXI, Año 3, Vol. 1, Nº 7, mayo-agosto, pp. 36-44. México.
- Labarrere, A.** (2012). De la ayuda a la colaboración. ZDP como célula del enfoque histórico cultural vigotskiano y eje del desarrollo de los estudiantes. *I Congreso Internacional sobre a Teoría Histórico-Cultural e 11ª Jornada do Núcleo de Ensino de Marília, 8, 9, 10 de Agosto 2012, Marília, Sau Paulo – Brasil*.
- Labarrere, A.** (2003). La formación de profesores de ciencia: un enfoque desde la teoría de la profesionalización temprana y de los procesos de orientación. *Extramuros*, 2 (2), 21-32.
- Labarrere, A.** (2000). Aprendizaje y desarrollo. *Revista Cubana de Psicología*, 17 (2), 28-30.
- Labarrere, A. y Quintanilla, M.** (2002). Análisis de los planos del desarrollo de estudiantes de ciencia. Efecto en el aprendizaje, *Pensamiento educativo*, 30, pp. 121-138.

- Latorre, M.** (2002). Saber pedagógico en uso: caracterización del saber actuante en las prácticas pedagógicas. Tesis doctoral. Pontificia Universidad Católica de Chile
- Leymoní, J., Bernadou, O., Dibarbour, M., Santos, E. y Toro, I.** (2009). Aportes para la enseñanza de las Ciencias Naturales. Segundo Estudio Regional Comparativo y Explicativo. Santiago: Laboratorio Latinoamericano de Evaluación de la Calidad de la Educación.
- López, J.** (2003). Aprendizaje organizativo: Un pasaje de luces y sombras. *Revista de Educación*, 332.
- Malvaez, O. y Labarrere, A.** (2013). The conceptions related to the development of students and place that give science teachers at the high school education. *Research in Science education* (in press).
- Mortimer, E.** (2002). Atividade Discursiva Nas Salas De Aula De Ciências: Uma Ferramenta Sociocultural Para Analisar E Planejar O Ensino. *Ensino de Ciências*, 7(3), pp. 283-306.
- Mourshed, M., Chijioke, C. & Barber, M.** (2012). Cómo continúan mejorando los sistemas educativos de mayor progreso en el mundo. Serie documentos de PREAL. No. 61. Chile, Santiago.
- Novak, J.** (2000). Aprendizaje, la creación y utilización del conocimiento. Los mapas conceptuales como herramientas de facilitación en las escuelas y empresas. Lisboa: Plátano Edicoes Técnicas.
- Ortiz, P.** (2010). Sobre la clase desarrolladora en la asignatura de física. Revisado en <http://casanchi.com/did/clasedf01.pdf> 03-10-2011
- Ortiz, P.** (2010) Sobre la clase desarrolladora en la asignatura de física. Revisado en <http://casanchi.com/did/clasedf01.pdf> . Consultado el 03 de octubre 2011
- Patiño, L.** (2007). Aportes del enfoque histórico cultural para la enseñanza. *Educación y Educadores*, 10 (1), pp. 53-60.
- Piaget, J.** (1978). *La equilibración de las estructuras cognitivas: problema central del desarrollo*. Madrid: siglo XXI
- Porlán, R. y Martín Toscano, J.** (1994). El saber práctico de los profesores especialistas. Aportaciones desde las didácticas específicas. *Investigación en la Escuela*, 24, 49-58.
- Pozo, J; et al.** (2006). *Nuevas formas de pensar la enseñanza y el aprendizaje. Las concepciones de profesores y alumnos*. España: Graó. pp. 7-459

- Pozo, J. y Monereo, C. (coord.)** (1999). El aprendizaje estratégico. Madrid: Santillana. p. 5-404.
- Salas, M.** (2009). El enfoque andragógico, los estilos de aprendizaje y la formación de competencias profesionales en el pregrado. Cuadernos de educación y desarrollo., 1 (7), en: <http://www.eumed.net/rev/ced/07/mesv.htm>, recuperado el 22 de enero 2010.
- Sierra, I.** (2010) Estrategias de mediación metacognitiva en ambientes convencionales y virtuales: influencia de autorregulación y aprendizaje autónomo en estudiantes universitarios. Tesis doctoral de doctorado en Psicología y Educación, Universidad de Granada, España.
- Solovieva Y. y Quintanar, L.** (2010). El desarrollo del niño y los métodos de enseñanza. Elementos, 77, p.p: 9-13.
- Vigotski, L.** (1984). Escritos escogidos de psicología, Ed. A cargo de A. N Leontiev y A. R. Luria, Moscú, 1956, págs. 438-452.
- Wells, G. y Mejía, R.** (2005). Hacia el diálogo en el salón de clases: enseñanza y aprendizaje por medio de la indagación. *Seplatata Sinèctica*, ITESO (Instituto Tecnológico de estudios Superiores de Occidente A.C. Guadalajara, México. p. 1-19.
- Zimmerman, B. J.** (2006). Development and adaptation of expertise: the role of selfregulatory processes and beliefs. In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltoovich, & R. R. Hoffman (Eds.), *The Cambridge handbook of expertise and expert performance* (pp. 705e742). New York: Cambridge University Press.



Capítulo 5

Aprendiendo a promover Competencias Científicas escolares mediante el diseño de preguntas con sentido

Carol Joglar, Mario Quintanilla

Contenido

- *Introducción*
- *Crisis en la Enseñanza-aprendizaje-evaluación de la biología*
- *Preguntar y enseñar a preguntar en el aula de Biología*
 - *El rol de la pregunta en la E-A-E*
 - *Concepciones del profesorado*
 - *Competencias de Pensamiento Científico (CPC)*
 - *Preguntar y enseñar a preguntar: una CPC a desarrollar en el aula de biología*
- *La elaboración de preguntas en el aula de biología*
 - *Análisis de algunos resultados*
 - *Conclusiones*
 - *Referencias bibliográficas*

5.1 Introducción

Soñar la clase de ciencias como un espacio para el desarrollo de ciudadanos y ciudadanas, a través de la interacción activa de todos/as aquellos/as que la componen. Anhelar un espacio donde se promueva la creatividad, las emociones, los valores, el razonamiento crítico y en donde se permitan oportunidades igualitarias a "todos y todas". Una clase de ciencias que enseñe a ser un ser humano y discutir los conocimientos de una Ciencia, racional y razonable (M. Quintanilla *et al.*, 2008), que desde la humildad, permite ser partícipe de sus avances, en un contexto de preservación del medio donde vivimos.

El desafío que se propone para la enseñanza de las ciencias en la actualidad es intenso y, de cierta manera, utópico. La formación de profesores y profesoras, para enfrentar este reto, es como mínimo compleja, ya que para esto, se deben enfrentar creencias personales, concepciones y visiones personales del mundo.

La búsqueda de respuestas sobre los fenómenos naturales es fundamental para el avance de la Ciencia, de la misma manera, en la enseñanza-aprendizaje-evaluación (E-A-E) de la ciencia escolar, en donde las preguntas también tienen un rol protagónico y más potente, que las propias respuestas (Márquez y Rocca, 2006). Las preguntas deben permitir al estudiante que encuentre su propio camino hacia el pensamiento (Chin, 2007), posibilitando así su construcción personal y la comprensión de determinada noción científica (Mary Lee, 1999).

El estudio de las preguntas en la clase de ciencias y su rol en la Enseñanza - Aprendizaje - Evaluación (E-A-E), presenta pocas investigaciones en Chile, lo que demuestra que, todavía no se tiene la real noción de su importancia en el aula, en especial hacia lo que se refiere a la clase de ciencias.

Las exigencias cuanto a la elaboración de buenas preguntas en el aula en Chile, en especial en lo que se refiere a las ciencias, es hoy acentuada, en especial en lo que proviene desde la administración de entidades educativas y desde los responsables por las políticas públicas en el país, sin embargo no podemos dejar de mencionar la crisis en la enseñanza de la biología, como otro factor condicionante (figura 1).

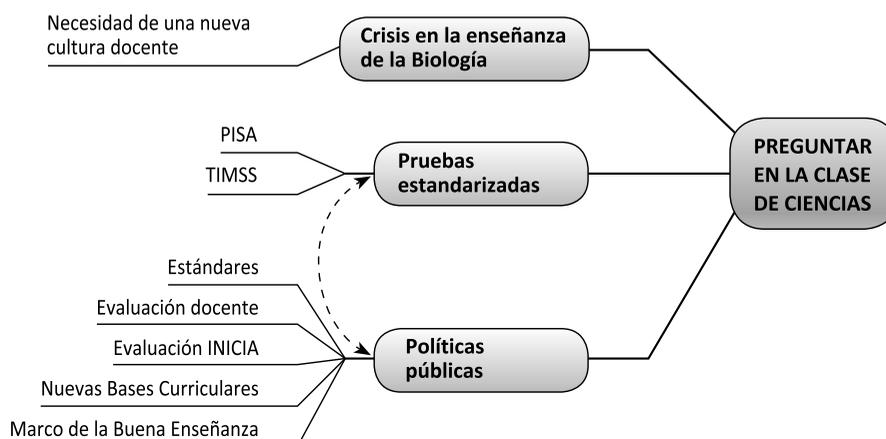


Figura 1: Factores que impulsan a una mejora en la calidad de las preguntas realizadas en las clases de Biología.

Las dificultades en el aprendizaje de las ciencias en el país, pueden ser detectadas desde varios ámbitos, en especial los resultados de las pruebas estandarizadas, a las cuales se somete el país. Dentro de estas, las pruebas OCDE-PISA y la prueba TIMSS, tienen especial relieve e impacto en las políticas públicas de Chile.

Los resultados presentados por PISA 2009 y 2006 (Mineduc, 2007; OECD, 2010) demuestran que cerca de 2/3 del estudiantado chileno presenta competencias científicas mínimas y básicamente instrumentales, no obstante demostraron una pequeña ventaja, de los logros nacionales, cuando comparado con el promedio de Latinoamérica, dejando demarcada las brechas de desigualdad con el promedio de los países OCDE. Esta prueba caracteriza la competencia científica (Mineduc, 2007) como compuesta por tres grandes capacidades:

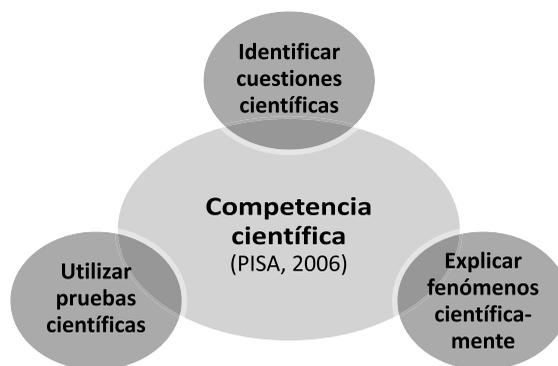


Figura 2: La competencia científica según PISA 2006 y sus capacidades (Mineduc, 2007).

Desde las tres competencias centrales, para este estudio, nos interesa en especial la capacidad de identificar cuestiones científicas, en donde la describe como:

“La capacidad de identificar cuestiones científicas implica reconocer interrogantes que pueden ser investigadas científicamente en una situación dada e identificar términos clave para buscar información científica sobre un determinado tema. Incluye asimismo la capacidad de reconocer los rasgos característicos de una investigación de corte científico: por ejemplo, qué elementos deben ser comparados, qué variables deberían modificarse o someterse a control, qué información complementaria se requiere o qué medidas han de adoptarse para recoger los datos que hace al caso” (OCDE, 2010, p. 30 y 31).

Se concluye que para desarrollar esta competencia científica se debe tener desarrollada la capacidad de identificar y elaborar preguntas.

La prueba TIMSS (Trends in International Mathematics and Science Study) es una prueba desarrollada por la Asociación Internacional para la Evaluación del Rendimiento Educativo (IEA), evalúa dimensiones del dominio del contenido (ejes de ciencias del marco curricular 2009) y el dominio cognitivo (conocimiento, aplicación y razonamiento). Los resultados del desempeño de nuestro estudiantado, han sido escuetos. En lo que se refiere al dominio cognitivo, presenta promedios más bajos que el dominio contenido. Sin embargo, las diferencias intra-país son preocupantes, ya que cuando se compararon los promedios por dependencia administrativa, se alcanzó una diferencia de un total de 112 puntos, donde las escuelas municipales obtiene un promedio de 435 puntos (bajo) y las escuelas particulares de 547 puntos (intermedio-alto). Si observamos estos resultados según género, podemos percibir que los estudiantes del género masculino presentaron un promedio 16 puntos a mayor, que los estudiantes del género femenino.

Podemos inferir que desde las pruebas internacionales, el estudiantado de ciencias chileno, necesita saber identificar lo que se le está preguntando, además de avanzar en el razonamiento y aplicación de los contenidos.

Dada la situación descrita e identificada por las pruebas estandarizadas mencionadas en el ítem anterior, varias han sido las políticas públicas generadas para aportar al problema de la enseñanza. Entre estas tenemos: la normalización de lo que es una “buena clase” desde el “Marco de la Buena Enseñanza” (MBE); los “Estándares orientadores para egresados de las carreras de pedagogía en educación básica y media”; Evaluación Inicia (prueba realizada, todavía de manera optativa, para los egresados de carreras de pedagogía). En lo que se refiere a la temática de las preguntas, podemos notar que cada uno de los mecanismos mencionados, incluyen de cierta manera, la promoción de las buenas preguntas en la clase.

El MBE (CPEIP, 2003) presenta en dos (C.5, C.6 y D1), del total de cuatro dominios, el tema de la necesidad de generar buenas preguntas en el aula. Desde el MBE provienen los estándares para la evaluación docente, el cual tiene como objetivo el fortalecimiento de la profesión docente en Chile, y se centra en aportar al mejoramiento de la labor pedagógica. Según Manzi, González y Sun (2011) la calidad de las interacciones entre el docente y el estudiantado, mayormente no favorecen al desarrollo del pensamiento, en general estimulan la ejecución mecánica, procedimental y/o memorística de la noción trabajada. Además, puede que el profesor induce a sus estudiantes hacia la respuesta en vez de promover la solución de problema discutido. El profesorado de Biología que en esta evaluación no alcanza un desempeño Competente o Destacado, es más que el 80% del total evaluado en el área, lo que llama especialmente la atención, es que cuando comparamos este dato con el profesorado de química o física, con los primeros se ellos no sobrepasan el 65% (Manzi *et al.*, 2011, p. 121).

Como se menciona anteriormente, Edwards y Mercer (1988) mencionan que los estudiantes y los profesores dentro de la clase, desempeñan gran parte del tiempo roles semejantes a concursantes y director del concurso, donde la necesidad de control, por parte del docente, de la clase genera a través de las preguntas que formula en el aula, un juego de adivinanzas, donde el estudiante debe ir siguiendo las “pistas” dadas por el docente sobre lo que está pensando, a través de las preguntas que este realiza. Según estos autores, poco se ha investigado sobre el porqué los docentes escogen este tipo de interacción en la clase y los objetivos que tienen los docentes al elaborar preguntas en las clases.

Se puede notar, de forma transversal, las exigencias sobre la utilización de preguntas en el aula como un mecanismo de promoción del pensamiento. Sin embargo no se discute el “cómo hacerlo”. Los profesores en servicio y los que están en formación no reciben aportes al desarrollo de preguntas que promuevan la metacognición en el aula, dándose por sentado que es algo que ellos saben hacerlo.

Las Nuevas Bases Curriculares para la Enseñanza Básica (MINEDUC, 2012a) componen el nuevo currículum para la enseñanza de ciencias en educación básica en Chile. Proponen para el área de las ciencias naturales el uso de la habilidad de investigación científica de forma conjunta a los conocimientos y actitudes. Desde estos documentos, el proceso de la investigación científica se divide en tres grandes habilidades: la primera es el observar y preguntar, la segunda es el experimentar/ conducir una investigación, y finalmente analizar evidencias y comunicar. Podemos notar que la base de este proceso, está la elaboración de preguntas por parte del estudiante, en especial las preguntas investigables (Sanmartí y Márquez, 2012) para la promoción del desarrollo de investigaciones científicas escolares.

Los estándares orientadores para egresados de carreras de pedagogía, tienen como objetivo (MINEDUC, 2012b) normar todo lo que el/la docente de enseñanza media, debe saber y poder hacer para ser considerado competente en un determinado ámbito. Se componen de dos grandes dimensiones, los pedagógicos y los disciplinarios. Entre los pedagógicos, queremos destacar el estándar 5, 10 y sus indicadores, en donde se espera que el profesor “formula preguntas que estimulen a los estudiantes a pensar, analizar, interpretar o evaluar información, y no solo preguntas que apunten a la reproducción de un contenido o la reproducción de las conclusiones del docente”. Y “puede formular y justificar una indagación sobre temas de aprendizaje y enseñanza de la disciplina” (MINEDUC, 2012b, p. 20).

La generación de buenas preguntas exige un conocimiento del contenido. Esto es un reto tanto para adultos como para estudiantes (Chin, 2007; A. C. Graesser, Olde, Pomeroy, Whitten, y Lu, 2005), independientemente si son preguntas generadas a partir de un texto científico o preguntas generadas en un contexto discursivo. Esta dificultad se puede generar según Chin y Osborne (2010) a partir del escaso conocimiento de la noción científica y desde la falta de conocimiento sobre cómo elaborar preguntas (A. C. Graesser *et al.*, 2005). Investigaciones demuestran que cuando se enseña a formular buenas preguntas, el aprendizaje sufre un incremento significativo (A. C. Graesser *et al.*, 2005; Marquez y Rocca, 2006; J. Otero y Graesser, 2001).

La capacidad de plantearse nuevas preguntas es plausible de ampliar cuando se utilizan nuevas herramientas y nuevas evidencias frente a situaciones conocidas, sin embargo un cambio de teórico suele ser necesario para mejorar la comprensión del fenómeno. Esta contrastación de un determinado fenómeno frente a una teoría, permite identificar la necesidad de ampliar la mirada desde nuevos enfoques (Marquez y Rocca, 2006). Este panorama se presenta como preocupante, ya que para elaborar preguntas de buena calidad, es importante que el profesorado sepa la noción científica que se pretende enseñar.

5.2 Crisis en la Enseñanza-aprendizaje-evaluación de la biología

La Biología moderna, como una ciencia autónoma, tuvo su reconocimiento en los últimos dos siglos, diferenciándose así de la Química y la Física, las cuales fueron reconocidas con anterioridad. En este período se establecieron sus ramas, de esta forma a inicios del siglo XX se observaron significativos avances, los cuales se reflejaron en el desarrollo de especialidades en el área como, la biotecnología, genética, zoología, microbiología, ecología entre otras (Mayr, 2005). En este contexto, los propósitos de la educación biológica, desde nuestro punto de vista, se complejizan con el avance vertiginoso de la biología durante los últimos cien años,

dificultando y desafiando su enseñanza en la escuela; las investigaciones de la Didáctica de las Ciencias, que apuntan a la necesidad de *enseñar a los estudiantes a pensar por medio de las teorías para dar sentido al mundo* (Izquierdo, 2000) bajo la comprensión plena de los factores que engloban grandes problemáticas y los efectos que estos conllevan a la sociedad y el medio ambiente, dentro de un enfoque de desarrollo sostenible; la necesidad de incrementar de forma significativa y equitativa la alfabetización científica en la población, la cual adquiere proporciones importantes, como lo mencionaba el *National Science Education Standards* (En Maiztegui et al., 2001) *“En un mundo repleto de productos, resultantes de la indagación científica, la alfabetización científica se ha convertido en una necesidad para todos”*; nuevas miradas cuanto a la naturaleza de las ciencias y su finalidad. Una E-A-E de ciencias para comprender el mundo, cambia el enfoque del qué, el para qué y por qué enseñar. Como lo menciona el estudio SERCE (2009) *la ciencia escolar debería permitir que el individuo tuviera posibilidades de realizar inferencias y generalizaciones acerca de fenómenos*, situación que requiere dejar de lado la enseñanza de ciencias centrada de forma exclusiva en contenidos.

La emergente necesidad de una “nueva cultura docente” (Quintanilla, 2006) en la formación del profesorado de biología, para esta nueva actividad científica escolar, cuyas investigaciones presentan, además, de un especial interés hacia el desarrollo de CPC y el pensamiento del docente, acerca del aprendizaje en el aula (Chamizo y Izquierdo, 2007).

Desde estas finalidades, resultan evidentes deficiencias en la formación de profesores, para este tipo de actividad científica escolar, ya que debido a los factores mencionados anteriormente, podemos percibir que esta formación está bajo lineamientos mayormente dogmáticos, objetivos y reduccionistas, en lo que se refiere a la enseñanza y el aprendizaje de biología, evidenciando la necesidad de cambios profundos en la formación de los docentes.

5.3 Preguntar y enseñar a preguntar en el aula de Biología

La promoción de preguntas en las clases de ciencias involucra la noción que tiene el profesorado sobre las CPC y su necesidad de desarrollo en el aula, además, de las concepciones personales del docente sobre la E-A-E. Discutiremos cada uno de estos tres ejes.

5.3.1 El rol de la pregunta en la E-A-E

La importancia de preguntar en el proceso E-A-E es reconocida y registrada desde la filosofía griega. Son varias las investigaciones que apuntan a la necesidad, que tiene el docente de realizar preguntas que promuevan el pensamiento de orden superior (Carlsen, 1991; Chin, 2007; Dillon, 1985; A. C. Graesser et al., 2005;

Silvestri, 2006). Las investigaciones sobre el tema se han centrado en especial desde los paradigmas de proceso-producto y el del sociolingüístico. Los resultados de las investigaciones desde el primero acreditan que el uso de preguntas de alto nivel cognitivo, realizadas por el/la profesor/a en el salón de clases, tiene un efecto positivo sobre el aprendizaje del estudiantado. Este paradigma ha centrado sus estudios en el desempeño académico de los estudiantes cuyos profesores realizan buenas preguntas en el aula. Las investigaciones provenientes del segundo paradigma engloba que se debe tomar en cuenta el contexto de la pregunta y su contenido. Desde esta perspectiva, en lo que se refiere al contexto, este es dinámico y se propone la necesidad de descripción detallada de los oradores, las relaciones y las normas que rigen los discursos. En lo que se refiere al contenido de la pregunta, este proporciona una manera de describir el tema, contextualizándolo en el discurso, sin embargo, presenta costos elevados, exige un conocimiento profundo del tema por parte del investigador, por ende, es una investigación de alta complejidad y en donde se objetiva la comprensión y no la replicación.

En conclusión podemos identificar la necesidad de elaborar preguntas que promuevan el pensamiento de orden superior (Chin, 2002; Chin y Osborne, 2008, 2010; Marquez y Rocca, 2006). Por ende, comprender cómo el profesorado desarrolla sus propias concepciones para elaborar preguntas en la clase, presenta especial relieve, cuando investigaciones mencionan la influencia de las concepciones sobre el accionar del profesorado en la clase (Ravanal, 2009).

5.3.2 Concepciones del profesorado

La necesidad de comprender las actitudes del profesorado, se basa en que las concepciones serían los mejores indicadores de las decisiones tomadas por las personas durante su vida, transformándose su estudio en un valioso constructo psicológico para la formación docente (Pajares, 1992). Aun así, el cuestionamiento del estudio de las concepciones del maestro, para algunos investigadores como Bryan y Abell (1999), no se presta para la investigación empírica, sin embargo Pajares (1992) replica, mencionando que el estudio sobre un tipo específico de concepción, posibilitaría una exploración viable y útil para la educación, por ejemplo el estudio sobre las concepciones epistemológicas del docente acerca de la naturaleza de la ciencia (Ravanal y Quintanilla, 2010).

Esto hace que el enfoque hacia la necesidad de estudiar el pensamiento del profesor de ciencias se destaque, ya que este pensamiento se relaciona a su desempeño en el aula, el cual está condicionado por sus saberes académicos, saberes de la experiencia, las rutinas y guiones y las teorías implícitas (Perafán, 2005; Porlán y Rivero, 1998), afectando directamente el modelo de enseñanza aplicado por el docente en la clase de biología, la toma de decisiones en el aula (Mellado, 2004), y el desarrollo de CPC (FONDECYT 1070795, 2009 marzo).

En esta investigación, entendemos cambio desde una noción evolutiva (Toulmin, 1977) en la cual las concepciones docentes *pueden evolucionar en función de una construcción y reestructuración de nuevos significados generados a partir de la interacción y el contraste con otras ideas y experiencias* (Cuellar, 2010, p. 32). El cuestionamiento de la idea de “cambio” es intenso (Angulo, 2002; Mellado, 2003; Zimmermann, 2000) por eso para ampliar esa noción utilizaremos la noción “de tránsito” (Joglar, Quintanilla y Malvaez, 2012; Malvaez, 2013) de estas concepciones, el cual fue desarrollado para comprender la idea de persistencia, ampliación y movimiento de los conceptos de los estudiantes en la enseñanza de las ciencias, el cual no necesariamente es lineal, y que puede ser utilizado de forma análoga para el caso de las concepciones docentes (Cuellar, 2010; Ravanal y Quintanilla, 2010), lo que posibilita comprender la “polifonía de conceptos” coexistentes en el docente (Perafán, 2005) los cuales, a veces, no presentan coherencia.

5.3.3 Competencias de Pensamiento Científico (CPC)

La actual sociedad del conocimiento requiere de la educación científica la formación de profesionales cada vez más abiertos a la apropiación de nuevas tecnologías y cosmovisiones, su uso y gestión ponderada y sustentable. Esta nueva concepción de la enseñanza de las ciencias, supera mecanismos dogmáticos para el aprendizaje, trasciende a una enseñanza que fomenta el desarrollo de habilidades no solo cognitivas, sino también lingüísticas (Chamizo y Izquierdo, 2007), las cuales facilitan al estudiantado el enfrentamiento de situaciones variadas.

El desarrollo de competencias es hoy una de las importantes propuestas para los niveles de enseñanza superior (Izquierdo Aymerich *et al.*, 2009), sin embargo, esta propuesta se ha ido direccionando hacia los niveles de enseñanza media y básica. El término competencias nace de las limitaciones de la enseñanza tradicional (Zabala y Arnau, 2008), y ha encontrado acogida en la enseñanza escolar, sin embargo, no deja de ser polémico. Sin embargo para nosotros, ser competente no es ser competitivo, ni tampoco se refiere a los requisitos profesionales de una carrera.

El planteamiento actual del desarrollo de CPC en el estudiantado, proviene del análisis *desde* el conocimiento docente, en el cual domina el rol protagónico del profesor, alejándose de esta forma, del reduccionismo cognitivista y acercándose a las experiencias, conocimientos, creencias, incluyendo así, factores contextuales, biográficos y experienciales en los cuales el elemento cognitivo es apenas uno más (Sandín, 2003).

Investigaciones acerca del pensamiento del profesorado y su práctica profesional (FONDECYT, 2009 marzo), demuestran que las CPC que debe desarrollar un estudiante de biología, están directamente relacionadas con la noción y comprensión

de CPC existentes en su profesor, su modelo teórico-empírico y como estos influyen, en la formación de CPC en sus alumnos (Camacho, 2010; Cuellar, 2010; Lederman, 1992; Ravanal *et al.*, 2008), obteniendo de esta forma éxito ante actividades desafiantes, que exigen un dominio conceptual elaborado de habilidades, valores y autorregulación de sus aprendizajes, estas capacidades se basan en la interacción de aptitudes prácticas y cognitivas, que combinadas permiten eficacia en la acción (Cuellar, 2010).

El desarrollo de CPC es actualmente un gran desafío y no ocurre de forma rutinaria, como es el caso de las competencias intelectuales (Zimmerman, 2007), por eso las investigaciones actuales se dirigen a investigar cómo situaciones de intervención, pueden posibilitar el desarrollo de estas competencias metacognitivas dentro de cánones rígidos, sin perder de vista aspectos sociales y humanos (FONDECYT, 2009 marzo; Henao y Stipcich, 2008).

Esta mirada conlleva una amplia gama de implicaciones, en las cuales las CPC participan no solamente en lo cognitivo, rechazando la supremacía de la ciencia sobre otras áreas del conocimiento y la consecuente noción de ciencia, como "portadora de la verdad".

5.4 Preguntar y enseñar a preguntar: una CPC a desarrollar en el aula de biología

En esta investigación asumimos que la CPC está compuesta de cuatro componentes: primeramente el del conocimiento conceptual (saber), que se co-construye socialmente siendo resultado de una mezcla dialógica compleja, donde el docente debe tener una buena comprensión del contenido científico y el dominio de su propio esquema conceptual (M. C. Quintanilla *et al.*, 2012), su epistemología, su historia y noción de naturaleza de la ciencia (M. Quintanilla, 2006), para poder elaborar preguntas adecuadas que permitan a que el estudiante integre las diferentes nociones científicas dentro de un mismo marco conceptual, y donde los conceptos abordados deben estar interconectados (Chin, 2007). El segundo componente es el contexto (saber estar) en donde el profesorado debe tener, además de conciencia de su propio conocimiento, el cuándo, cómo, porque y para qué, estos deben ser usados. Tiene conocimiento del entorno e circunstancias específicas donde se debe producir la pregunta y el significado que esta debe provocar en el estudiante, como esta puede relacionarse con el tema que se está abordando o que se irá abordar (Zabala y Arnau, 2008). Identifica y relaciona cómo la pregunta se conectara con el propio contexto estudiantil, ya que es esta, una realidad altamente específica y no comparable (Zabala y Arnau, 2008), dando condiciones a que lo aprendido, posibilite la transferencia de un contexto antiguo a un nuevo contexto, sabiendo que este nuevo caso no es el mismo. En tercer lugar los valores/emociones/ac-

titudes (saber ser) las cuales fundamentan y posibilitan las acciones humanas, y son la condición de posibilidad de la razón y del lenguaje, siendo que este último que domina coordinaciones conductuales consensuadas y cooperativas, donde se requiere la convivencia que se basa en la aceptación recíproca (M. R. Otero, 2006). Las relaciones sociales o relaciones entre las personas subyacen genéticamente a todas las funciones superiores y sus relaciones” (Wertsch, 1988), lo que indica que el pensamiento se puede atribuir a grupos o individuos, esta conexión es inherente, y donde el plan interpsicológico tiene un profundo impacto. Los sentimientos y las emociones tienen un papel fundamental en las relaciones sociales, y la toma de decisiones requeridas por la vida social, es decir en el razonamiento. Según Otero (2006) entre las emociones que definen o caracterizan la actividad científica esta la emoción de la curiosidad, y la emoción por explicar, *“que llevan a la pasión por preguntarse, por crear y responder”*. (2006). Por lo tanto el cómo realizamos una pregunta, puede ser una manera para, junto al estudiante, tomar decisiones consensuadas (Blosser, 2000; M. R. Otero, 2006) y resolver problemas (Chin y Osborne, 2008). Los tipos de preguntas que hacen los docentes y la forma como las hacen, influye en los procesos cognitivos de los aprendices y en los esfuerzos que dedicarán al proceso de construir conocimiento científico (Chin, 2007). Además determina el tipo de actitudes que propone desarrollar en sus estudiantes, y el tipo de discurso que se realizará dentro del aula. Y finalmente el componente de la habilidad (saber hacer) en donde el profesorado debe reflexionar al respecto de la forma de preguntar y la naturaleza de la pregunta, posibilita en el docente también un discurso reflexivo, posibilitando a sus estudiantes que puedan aclarar sus ideas, encontrar sus propios significados, considerando diferentes puntos de vista y consecuentemente autorregulando su manera de pensar. La habilidad del docente de elaborar y secuenciar preguntas en el aula, da condiciones a que el estudiantes desarrolle su propio modelo mental, pasando en la clase de un discurso-monólogo a un “discurso-dialógico con ideas”. Enseñar mecanismos de formulación de preguntas a los estudiantes tienen especial importancia para enfrentar la resolución de problemas (A. C. Graesser *et al.*, 2005), las buenas preguntas no emergen de forma espontánea, hay que enseñarlas, sin embargo, tan difícil cuanto, es enseñarles a evaluar la calidad de sus preguntas. Buenas preguntas generan buenas inferencias, en este contexto la pregunta actúa como un “peldaño metacognitivo” llevando el estudiante hacia el pensamiento profundo (Valenzuela, 2008). Los docentes que tienen especial cuidado con el diálogo, promoviendo el intercambio de ideas, intentando identificar sus ideas previas, explicaciones, modelos mentales, ayudan a que sus estudiantes construyan sus propios modelos mentales, de esta manera colaboran hacia la reducción de la brecha cognitiva entre la base de conocimiento del estudiante y las preguntas formuladas por el docente para la promoción del pensamiento de orden superior en sus estudiantes.

Según Graesser *et al.* (2005), es importante que se entienda los mecanismos que se activan para la formulación de las preguntas, como los patrones de exploración, y las estrategias de respuestas de preguntas realizadas por los seres humanos para posibilitar un análisis sofisticado de la alfabetización científica, la cual permite la toma de decisiones.

La elaboración de preguntas en la enseñanza de las ciencias es hoy un requisito para el profesorado de ciencias, en donde emerge significativamente, la necesidad de estudiar el pensamiento docente, como un mecanismo para comprender su enseñanza, sus decisiones didácticas, sus concepciones sobre las CPC y su tránsito, a través de un modelo de intervención docente (1070795, 2009 marzo; Camacho, 2010; Cuéllar, 2010), que posibilita identificar la enseñanza-aprendizaje-evaluación de la ciencia, como una actividad científica escolar con sentido humano y direccionada al desarrollo del estudiantado de forma plena, aplicando el conocimiento científico en su cotidiano, aportando al desarrollo del ciudadano.

Esta investigación se enmarca desde un enfoque epistemológico *racionalista moderado* (Quintanilla, 2006; Quintanilla *et al.*, 2008) y apunta hacia la enseñanza de la ciencia escolar, desde una mirada humana y razonable, donde la elaboración de preguntas en el aula de biología, tiene como objetivo aportar al desarrollo de esta CPC, en todos los componentes del discurso interno al aula, desde el profesor como del estudiante.

Es interesante notar que, no obstante, se le requiera al docente de forma intensa la elaboración de buenas preguntas en el aula, este no ha sido formado para realizarlas, presentando graves dificultades y falencias con el diseño de sus preguntas, donde en general las ve como un sistema de evaluación y control dentro del aula, desarrollándolas en sus aulas, como un "juego de adivinación" donde el estudiante debe adivinar lo que el profesor o profesora está pensando (Edwards y Mercer, 1988). Por ello, se continúa promoviendo en el aula pensamientos de orden inferior, como por ejemplo, la memorización.

El de la situación actual en el terreno de la formación permanente del docente en servicio, nos da insumos para seguir desarrollando acciones de investigación que permitan promover acciones en el aula que garanticen y, de manera coherente y sistemática, den cuenta del desarrollo de las competencias de en general y de pensamiento científico en particular. En este sentido, parece claro que existen pocos indicadores, o no existen en absoluto, de los diferentes estadios o fases que, teóricamente, podría transitar la competencia de pensamiento científico (el sujeto), durante su formación como sujeto competente. Por lo que esta investigación da luces de los primeros insumos para la elaboración de indicadores que puedan dar cuenta de estos planos del que permitan orientar la formación permanente del

profesorado. Esta es una tarea que, desde una perspectiva participativa, no puede llevarse a cabo sin la presencia de los profesores. Por lo que en los talleres se trata promover y desarrollar una “cultura de reflexión”, en el profesorado en general y de ciencias en particular.

Por lo anterior, nos parece necesario que los docentes en el proceso formativo permanente, sean capaces de diseñar e implementar instrumentos y estrategias de intervención en su propio aprendizaje y en el aprendizaje de sus estudiantes, que los docentes puedan por sí mismos dar cuenta de cómo el estudiantado aprende a comprender la ciencia al enfrentar auténticos problemas ya sea con la ayuda del profesorado o independientemente y de forma similar a ensayar las estrategias de solución que contribuyan al aprendizajes y estimulen el desarrollo de la creatividad y el talento en las diversas áreas del conocimiento científico.

5.5 La elaboración de preguntas en el aula de biología

Las tensiones cognitivas deben generarse en espacios sociales, especialmente el aula, donde el dialogo educativo y democrático debiera ocurrir en su mayor expresión, centrando sus actividades en el debate, donde los aprendices tuvieran el derecho de hablar y la obligación de explicar sus razonamientos, tomar conciencia de sus propios aprendizajes (Michaels, O'Connor y Resnick, 2007). El objetivo de esta investigación es identificar las finalidades que tienen los estudiantes al realizar preguntas, e determinar el tipo de preguntas escogen al momento de aprender una determinada noción científica.

Las preguntas están en el núcleo de las tareas complejas realizadas por los seres humanos y son una de las herramientas más potentes que tiene el profesor y sus estudiantes, para lograr intercambiar puntos de vista a través de diálogos, que den la oportunidad de argumentar y potencializar sus competencias ciudadanas (Márquez y Rocca, 2006). Por consiguiente, generar buenas preguntas permite que el estudiante desarrolle un aprendizaje activo, promoviendo la construcción de su propio conocimiento y metacognición. Se sabe que la cantidad de preguntas realizadas en el aula y que promueven niveles profundos de pensamiento, son escasas (A. C. Graesser y Olde, 2003), por eso, esperar que los estudiantes formulen preguntas de este tipo de forma espontánea, es difícil y/o utópico.

La capacidad de hacer preguntas es innata en los seres humanos, no obstante, en la escuela no es usada en su plenitud, por lo contrario, su uso es restringido, por lo tanto, gran parte de su potencial no es aprovechado para el aprendizaje en cualquier nivel de enseñanza, por consiguiente, todavía permanece muy poco explorada. Según los estudios realizados por Arthur C. Graesser y Person (1994), se identificó que los estudiantes elaboran una cantidad pequeña de preguntas en el aula, y que cuando preguntan, es común que esas interrogantes sean para

llamar la atención, siendo escasas, las preguntas para buscar conocimiento. Esto puede ser posible debido a las características naturales de los adolescentes, ya que de ninguna forma quieren llamar la atención sobre ellos mismos. La otra explicación para que se generen tan pocas preguntas en el aula, es que los docentes no promueven en sus estudiantes la elaboración de preguntas (Osborne y Dillon, 2008). Sin embargo, en estos últimos años se han incrementado de forma significativa los estudios sobre el rol del lenguaje, el discurso y la argumentación en el aula de ciencias, desde un plano personal del estudiante y también desde la construcción social del conocimiento (Chin y Osborne, 2008).

La utilización de preguntas en el aula, como mecanismo para el desarrollo de la metacognición, es un tema que tiene una buena cantidad de investigación, las cuales se han centrado, especialmente, en la enseñanza de las ciencias (Chin y Chia, 2004, 2006; A. C. Graesser *et al.*, 2005; Marquez y Rocca, 2006; Roca, Márquez y Sanmartí Puig, 2013; Sanmartí y Márquez, 2012).

Las preguntas pueden impulsar a que los estudiantes pasen desde meras afirmaciones, al desarrollo de la predicción, la experimentación y la explicación, pues les favorecen la generación de una cascada de actividades cognitivas, que les permiten ir construyendo a través de piezas su conocimiento o resolviendo conflictos de comprensión (Chin y Brown, 2002). Durante este proceso, ocurre la formación o reordenación de redes o esquemas cognitivos, a través de los cuales, los estudiantes van construyendo explicaciones y respuestas a sus propias preguntas e igualmente hacia aquellas propuestas de manera intencionada por el/la profesor/a. Las repuestas generadas por los estudiantes frente a la perplejidad y asombro pueden estimular y proponer solución a situaciones problemas, y pueden ser provenientes de preguntas espontaneas o deliberadas por el docente. (Chin y Osborne, 2010). Por ende, generar una pregunta en la clase, no siempre es una tarea fácil para el/la estudiante. Para que el individuo consiga expresar de forma verbal una pregunta, es necesario que, primeramente, ocurra el desequilibrio cognitivo, a seguir que este sea detectado y transformado en palabras, las cuales deben ser emitidas (A. C. Graesser y Olde, 2003).

Los procesos psicológicos superiores se originan primeramente en el plan social, para que a seguir se plantee en un plan psicológico personal. El plan social, el autor lo llama de interpsicológico y el individual, lo llama de intrapsicológico (Vygotsky, 1979). Esto implica que términos, como el pensamiento, se pueden atribuir tanto a grupos como a individuos. En el proceso de reconstrucción o transformación del conocimiento desde estos planes, las preguntas adquieren un importante rol, ya que a través de las mismas, es posible que el docente tenga una idea de las representaciones que se están formando a nivel intrapsicológico. El trabajo enseñanza del estudiante en la ZDP, permite despertar y colocar en funcionamiento

una serie de procesos de desarrollo, los cuales son posibles, si ocurren en una esfera colaborativa, y a medida que avanzan se convierten en propiedades internas al estudiante (Wertsch, 1988). Las preguntas pueden ser utilizadas para desarrollar la reflexión personal, donde el auto preguntarse puede propulsar la manera de pensar del estudiante, generando de esta forma andamios, para el desarrollo de la metacognición y autonomía. Además, pueden ser generadoras de “andamios de ideas”, en los discursos generados a través de trabajos grupales de pares, donde la interacción es el eje que coordina el avance del trabajo, fomentando así una “zona de construcción” inter-metal e intra-mental.

Las preguntas elaboradas por los estudiantes, deben ser para el profesor un indicador que este estudiante ha pensado en las ideas discutidas, y que está intentando encontrar una forma de vincularlas a otros conocimientos que posee, demostrando de cierta forma una brecha existente entre lo que él sabe y hacia donde intenta llegar. Por ende la formulación de preguntas es una habilidad metacomprendiva, como lo es la argumentación (Chin y Osborne, 2008), que necesita ser desarrollada, pues no se genera de forma espontánea. La competencia de elaborar preguntas está compuesta de procesos cognitivos y lingüísticos complejos que deberían ser tenidos en cuenta, al momento de diseñar actividades de instrucción específica (Silvestri, 2006). Sería lógico por tanto que en la escuela se enseñara a desarrollar preguntas productivas, situación que no ocurre, pues en general en los contextos educativos los estudiantes no son enseñados de forma sistemática a elaborar preguntas, donde tampoco tienen buenos ejemplos de preguntas, por parte de los profesores (Graesser et al., 1996. En Silvestri, 2006).

Desde un enfoque de la construcción social, el aprendizaje de las ciencias debe ocurrir a través de la interacción, donde el educando puede construir sus propios conocimientos. Esto va en contra la idea, muchas veces, dominante, en la enseñanza de las ciencias, donde se cree que los estudiantes necesitan primero aprender los hechos, para después intentar saber qué piensan a respecto de los mismos (Blosser, 2000).

La elaboración de preguntas en el aula por parte del estudiantado presenta posibilidades de desarrollo de competencias de pensamiento científico, donde los estudiantes podrán pasar de niveles superficiales del pensamiento a niveles más profundos. Según Chin y Osborne (2008) estas funciones pueden:

- a. *Potenciar el aprendizaje y la construcción del conocimiento:* el aprendizaje es un proceso para el cual se necesita un gran esfuerzo por parte de los estudiantes en la construcción de los significados. Desde este enfoque, las preguntas pueden impulsar a que los estudiantes pasen desde meras afirmaciones, al desarrollo de la predicción, la experimentación y la explicación, además, según lo postula Chin y Brown (2002), además, favorecen

la generación de una cascada de actividades cognitivas, que le permiten ir construyendo a través de piezas su conocimiento o resolviendo conflictos de comprensión.

Durante este proceso ocurre la formación o reordenación de redes o esquemas cognitivos a través de los cuales los estudiantes van construyendo explicaciones y respuestas a sus propias preguntas, también direccionadas de manera intencionada por el o la profesora. Las repuestas generadas por el estudiantado frente a la perplejidad y asombro, pueden estimular y proponer solución a situaciones problemas, las cuales pueden ser provenientes de preguntas espontaneas o deliberadas por el profesorado, podemos notar el importante papel que las preguntas tienen en la activación del pensamiento.

- b. *Fomenta la discusión, el debate aumentando, la calidad del discurso y la participación en el aula:* La discusión y debate en el aula incita el hablar del estudiante, donde, dependiendo de la actividad a desarrollar, pueden auto estimularse y estimular en sus pares hacia el uso de estrategias de pensamiento, de esta forma co-construyen conocimiento a través del debate productivo. Dar condiciones para que el estudiante se haga preguntas, posibilita el desarrollo de un sujeto reflexivo y consciente de sus avances y desafíos, diferenciándolo de uno que necesita ser dirigido.
- c. *Desarrollo de la autorregulación del aprendizaje:* De acuerdo con Graesser, Person y Hubber (1992. En Chin y Osborne, 2008) el mecanismo de generación de preguntas nace de la necesidad de corregir déficits de conocimientos declarativos, ya que durante el proceso de aprendizaje el estudiante detecta inconsistencias en la información recibida frente a sus ideas previas generando de esta forma anomalías. Estas pueden ser enfrentadas a través de la elaboración de preguntas, de esta forma el estudiante regula el proceso anómalo. Por esta razón, ayudar a los alumnos a supervisar y auto-evaluar su comprensión en el plano individual, contiene gran importancia en el proceso enseñanza-aprendizaje.

La pregunta puede ser una potente herramienta de la autorregulación de los aprendizajes en los estudiantes. Como lo menciona Wertsch (1988), pueden ser utilizadas para desarrollar la reflexión personal, por ello, el auto preguntarse puede provocar el desarrollo de pensamientos que son propulsores de la manera de pensar del estudiante, generando de esta forma andamios, para el desarrollo de la metacognición. Además, las preguntas pueden ser generadoras de "andamios de ideas" en los discursos generados a través de trabajos grupales, donde la interacción es el eje que coordina el avance del trabajo, fomentando así la reflexión sobre sus propias ideas

construyendo de esta forma una “zona de construcción “ inter-metal e intramental. Desde la perspectiva cognitiva social, la generación de la pregunta es una actividad constructiva y un componente esencial del discurso del estudiante, en especial en lo que se refiere al aprendizaje de las ciencias.

- d. *Aumento de la motivación y estímulo de la curiosidad:* Las preguntas pueden provocar el debate, generando así en los estudiantes la identificación de diversas perspectivas sobre la problemática discutida, fomentando la argumentación científica y el pensamiento crítico. Siendo este último esencial para posibilitar a que los estudiantes reconozcan razonamientos correctos o incorrectos, inferencias validas o no, y la construcción de hipótesis, identificando evidencias para admitir o rechazar hipótesis.

El acto de preguntar puede estimular la curiosidad, despertando la motivación y el interés por el fenómeno estudiado. En un estudio realizado por Chin y Osborne (2008) encontraron que cerca de 75% de los estudiantes de 6° grado prefirieron investigar preguntas planteadas por ellos mismos, en relación a las preguntas de investigación planteadas por sus libros textos. Estos estudiantes dijeron sentirse “felices”, “emocionados” u orgullosos, por haber generado sus propias preguntas para sus investigaciones, describiendo la experiencia como “emocionante”, “divertida” e “interesante”. Lo que refleja que, de alguna forma, la importancia de trabajar con la curiosidad innata de los estudiantes y de cierta forma liberarse de cadenas de dogmatismo, es más eficiente en el aprendizaje escolar.

Preguntar o preguntarse a sí mismo, es el eje central del quehacer del científico. Saber preguntar en una competencia central del pensamiento crítico, el pensamiento creativo y la resolución de problemas. Por ende, el cuestionamiento tiene un rol central en el desarrollo del conocimiento científico y de la ciencia escolar, de esta manera, desarrolla el pensamiento crítico, la justificación de razonamientos y la explicación científica. En este contexto, el desarrollo de la competencia de hacer pregunta por parte del estudiantado es uno de los focos en la actual reforma de la enseñanza de las ciencias (Chin y Osborne, 2008).



Figura 3: Saber preguntar competencia central Chin y Osborne (2008).

Las preguntas de los estudiantes desempeñan un importante papel en su propio proceso de aprendizaje de las ciencias, porque tienen un rol fundamental a través de la actividad discursiva y dialógica, pudiendo de esta forma incrementar y potencializar significativamente el aprendizaje de las ciencias, por esta razón adquieren el estatus de un importante instrumento didáctico para el docente.

De manera semejante al científico, el estudiante tiene sus propios modelos y teorías a respecto de los fenómenos que observa (Márquez y Rocca, 2006), por lo tanto el aula de ciencias debe ser un momento privilegiado para el auto cuestionamiento de las teorías implícitas que provienen con el estudiante. Enseñar a los estudiantes a plantearse preguntas, debe ser parte del proceso de enseñanza-aprendizaje, donde se promueve el planteamiento de preguntas y en especial el desarrollo de la habilidad de identificar preguntas posibles de ser investigadas.

La enseñanza y el aprendizaje hacen parte de un proceso comunicatorio, donde el estudiante y el docente necesitan interactuar para construir los significados de forma social. Hace parte de este proceso la comunicación de las ideas generadas, y a través de esta comunicación se genera un proceso regulatorio, a través del cual el docente puede, de cierta manera, identificar ideas erróneas (Chin y Osborne, 2008).

La actividad científica escolar debe promover el desarrollo de CPC a partir de la necesidad de resolver situaciones problemáticas que requieren planteamientos nuevos desconocidos hasta ahora (Labarrere y Quintanilla, 2002). La enseñanza de la actividad científica escolar como un proceso continuo, es un desafío al docente de ciencias (Copello y Sanmartí Puig, 2001), por lo que a través de talleres de reflexión docente, el profesor tiene la posibilidad de construir, reconstruir y ampliar, junto a sus pares su teoría, su lenguaje y su experiencia (Toulmin, 1977), además de una reflexión dialógica (Copello y Sanmartí Puig, 2001).

Labarrere (2011) afirma lo siguiente en una de sus charlas:

1. *Existe recursividad entre la competencia como producto del desarrollo y los productos del desarrollo de la competencia.*
2. *El conocimiento de la competencia y las posibilidades de (auto) monitoreo y (auto) valoración constituyen ejes de la formación.*
3. *Deben diferenciarse momentos tempranos y tardíos, o de madurez, en el desarrollo de las competencias y del sujeto competente.*
4. *El sujeto competente, en un estadio de madurez, se caracteriza por flexibilidad en la estructura de sus competencias.*
5. *La posibilidad de comunicar y gestionar la competencia es un factor primordial en el desarrollo y el comportamiento del sujeto competente.*

5.6 Análisis de algunos resultados

Este proyecto tiene como uno de los principales objetivos posibilitar y ayudar a gestionar con el profesorado, el diseño y validación de secuencias de enseñanza para el aprendizaje de ciencias, que den cuenta del desarrollo y promoción de CPC, donde el docente participante sea autor y actor de las investigaciones desarrolladas en la sala de clase.

Se discuten en este trabajo las sesiones realizadas en el segundo año del proyecto. Y la idea es identificar en las narrativas del profesorado durante las sesiones del TRD y la posible complejización de sus modelos de enseñanza y el posible tránsito de sus propias concepciones.

Las sesiones se inician a partir de una entrevista grupal, que busca identificar a qué se refieren las docentes cuando hablan de CPC (Joglar *et al.*, 2011): las CPC son una más de las muchas modas en la educación; las sienten como un desafío que las lleva a enfrentar dificultades; la asocian a un entendimiento meta cognitivo. Además, hacen énfasis en los obstáculos que enfrentan para enseñarlas en la clase de ciencias. Estos obstáculos son de tres tipos generales: los personales, los institucionales y los sociales (que también pueden ser interpretados por gubernamentales). De acuerdo con las profesoras, la enseñanza y el aprendizaje de las CPC, actualmente, es realizada por intuición. Sin embargo, desde su punto de vista el profesorado debiera transparentar a los estudiantes cuáles competencias ellos deben aprender y el porqué. Se hace También destacan la necesidad de que el docente y el estudiante sean emocionalmente competentes para enseñar y aprender las CPC en el aula de ciencias.

Nuestro análisis de las reflexiones realizadas por el grupo de docentes identificó dos grandes fases en el desarrollo de la noción de CPCEP por parte de las docentes en el discurso grupal, durante las sesiones del taller. La primera fase es la fase que compone una noción unidimensional y la segunda donde ellas transitan hacia una noción multidimensional de la CPC. Los análisis se fijan en dos niveles: el primero es la competencia y el sujeto y como ellas la relacionan. Y el segundo, la noción de la CPC expresada por los sujetos.

1. La competencias y el sujeto

a. Fase unidimensional:

- i. Relacionan la competencia genérica al sujeto.*
- ii. Relacionan competencias genéricas al sujeto, sin embargo, ya comienza a relacionarse el análisis con las preguntas.*

iii. Relacionan la interdependencia de la competencia y se las definen, dentro del campo de la Ciencia, por ejemplo analizar en ciencias.

b. Fase multidimensional

- i. Las CPC son interdependientes en relación al sujeto, sin embargo, de acuerdo a la necesidad momentánea, una de ellas adquiere mayor relevancia, sin perder la dependencia. Además, estas CPC se extrapolan, saliendo de esta manera del campo de la ciencia, conectando el sujeto al mundo real, posibilitando mejores condiciones para comprender el mundo.

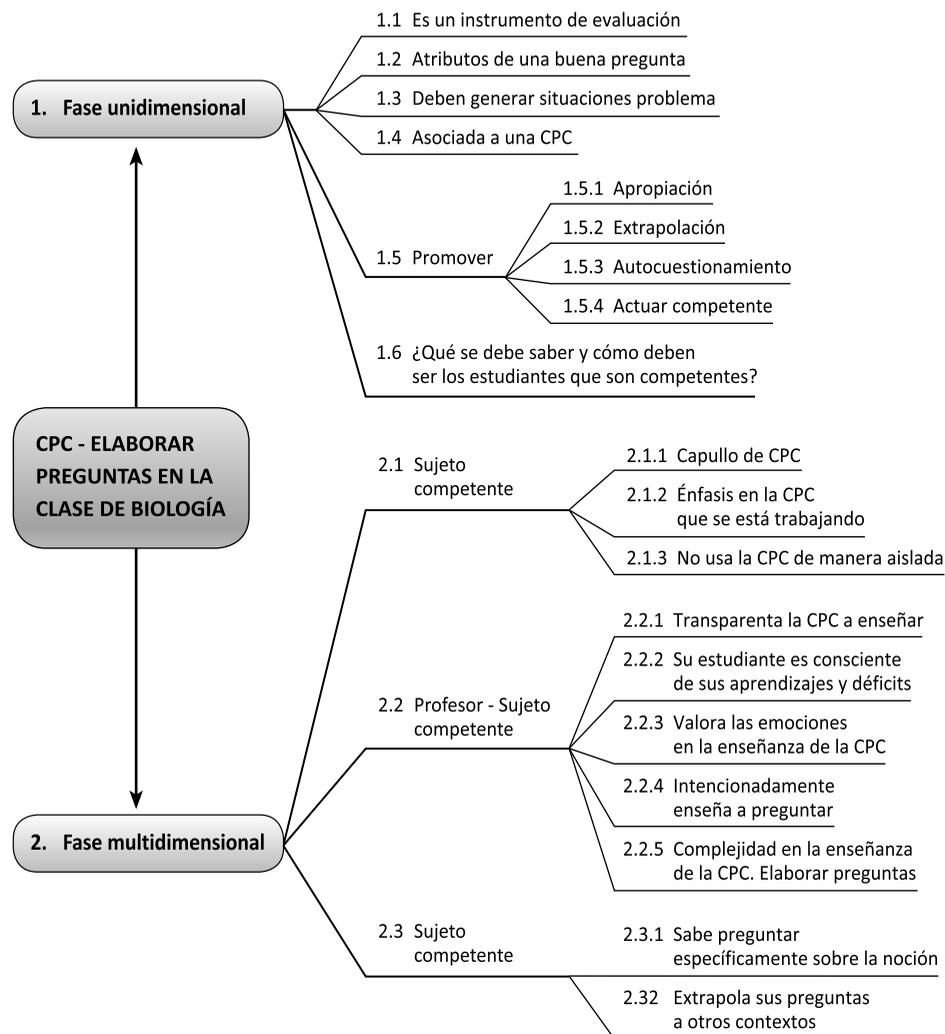


Figura 4: Fases de tránsito de la noción de CPC - Elaborar Preguntas, durante las sesiones del taller. Principales ideas emergentes.

La figura 4 se refiere al tránsito que enfrentó la noción de CPC-EP de las docentes durante las sesiones del taller. Detallaremos a seguir, los principales puntos que se destacan en este mapa. La síntesis teórico-metodológica, se aprecia en la figura 5.

En la **fase unidimensional**, las preguntas:

1. Son instrumentos de evaluación que tiene el profesorado para indicar la comprensión y posibilitar la retroalimentación. Cuanto a las preguntas que hace el estudiante, o no se responden o se reenvían para que las respondan. Lo podemos identificar en esta reflexión: *“¡Bueno yo creo que la pregunta y la respuesta es un mecanismo de evaluación! | primero para ver si ellos están comprendiendo... uno de los métodos socráticos está muy antiguo pero yo creo que en la ciencia sigue siendo una cosa vital como retroalimentación<...> para uno saber si va por buen camino”* (TRD01).
2. Deben ser interesantes, promover la elaboración de hipótesis, además, es un desafío la formulación e identificación de buenas preguntas, ya que no conocen los atributos que esta debe tener: *“...no basta con formular preguntas sino el desafío es como formulamos buenas preguntas, tenemos que aprender identificarlas...”* (TRD02).
3. Deben ser generadoras de situaciones problemas: *“[...] es que estaba con la idea de la pregunta, la pregunta siento que genera un tipo de... de algo que ellos no puedan responder, crearles la necesidad a través de eso y creo que de alguna u otra manera el... la pregunta... o sea, la necesidad de preguntar...”* (TRD03)
4. Vinculan la CPC analizar, a la elaboración de preguntas para enseñar una noción científica.: *“[...] porque creo que lo que distingue al pensamiento científico y eso es, que quiero yo que el estudiante, que CPC quiero que tenga el estudiante, que tenga la capacidad de frente a un problemática, ¿cierto?”* (TRD04)
5. Deben llevar a situaciones de enseñanza, que permitan la apropiación, extrapolación, auto cuestionamiento y el actuar competente: *“[...] capaces de indagar en la pregunta , no quedarse con la idea , sino que ellos... busquen información y en base a esa información ellos puedan argumentar, responder, y principalmente proponer. Yo creo que una buena competencia es que ellos propongan, propongan no solo respuestas, sino que también preguntas, porque en la pregunta también hay un sujeto competente porque está haciendo asociaciones. Preguntas que sean en el tema y que te inviten a hacer un análisis o un debate también”* (TRD06)

En la **fase multidimensional**, la pregunta es considerada como una CPC que está vinculada a otras competencias, las cuales son interdependientes, formando de esta manera, un capullo de CPC, por eso en este caso se menciona que la CPC-EP debe permitir el desarrollo del sujeto competente, en donde:

1. El profesor debe saber cuáles contenidos debe saber su estudiantes y cómo deben ser las preguntas de un estudiante competente, con sus niveles indicadores de esa competencia (TRD07).
2. El sujeto competente debe proponer preguntas, y que no hay como separar esta competencias de otras, ya que forman una red interdependiente, en donde se da énfasis a la CPC que se está utilizando (**capullo de competencias**): *[...] no... porque eso es lo que le conversaba el otro día, hay muchas competencias que nosotros vamos a desarrollar pero no son las que nosotros vamos a ir evaluando o las vamos a evaluar intuitivamente... o no sé, nos vamos a dar cuenta que se van desarrollando pero nuestro objetivo va hacia esta competencia.” “[...] las competencias están ligadas... coordinadas y que sin querer es lo que hemos vivenciado en cerca de dos sesiones que no nos poníamos de acuerdo... ¿te acuerdas que la PC insistía que no solo el análisis?” (TRD08).*
3. El docente debe ser un sujeto competente y transparentar al estudiante la competencia a desarrollar, permitiéndole ser consciente de sus aprendizajes y déficits: *[...] entonces es a eso a lo que quiero ir... que en definitiva en educación, el punto clave de la educación es EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO, que el niño toma conciencia de lo que aprendió y puede aplicar eso que aprendió... [...] Puede tomar conciencia de que aprendió, a formular y analizar preguntas” “[...] yo me doy cuenta y mientras más tengo el desarrollo de los talleres, mientras más vaya avanzando, más claridad estoy teniendo en que competencias tengo yo desarrollada, cuales me faltan desarrollar y cuales creo que no sé si voy a desarrollar” (TRD09).*
4. Las emociones deben estar en un modelo de enseñanza que incluye el desarrollo de CPC: *...entonces uno no puede dejar tan las emociones en ninguna aprendizaje porque son las emociones las bases de un aprendizaje, si tu estas mal, por más inteligente que seas no vas a aprender por lo tanto un sujeto competente que se supone nosotros se supone porque yo podría ser competente en algún área del aprendizaje o de la enseñanza, pero un sujeto competente es el que puede hacer la reflexión de sí mismo...” (TRD09).*
5. Se debe enseñar a hacer preguntas, sin embargo, para llegar a la CPC que se quiere desarrollar, el vínculo con las emociones es importante.
 - i. C: *O sea, ¿Tú les enseñas a hacer preguntas?*
 - ii. P1: *¡Claro!*
 - iii. C: *¿Y cuál sería el protocolo?*
 - iv. P1: *El protocolo...*

- v. *C: ¿Cómo se enseña a formular preguntas?, porque a lo mejor, esa experiencia que tú ya tienes es la que nosotros podríamos rescatar para la unidad didáctica.*
 - vi. *P1: Bueno, como yo te dije que todas las clases, los títulos de mis clases son preguntas, ...que eso fue una forma de desestructurar una forma de pensar y entender que la pregunta es el inicio de un tema... (TRD11).*
6. Enseñar a preguntar es complejo: *“Y ahora ¿cómo lo hacemos para que formule preguntas en relación al ciclo del agua, y al ciclo del carbono, y al ciclo del nitrógeno?”(TRD12).*
 7. El sujeto competente es creativo, por lo cual sabe preguntar sobre la noción científica, además consigue extrapolar sus preguntas a otros contextos.

5.7 Conclusiones

Como ya ha sido mencionado, en este capítulo, partimos de la idea de la relevancia que hoy en día tiene el contar con las herramientas, instrumentos y estrategias teóricamente fundamentadas para que profesorado y estudiantado comprendan el lenguaje de las ciencias y logren usar y actuar desde y en el conocimiento científico mediante la reflexión continua, dinámica y permanente de las preguntas propias y colectivas que surgen de la necesidad de interpretar el mundo, conocerlo e intervenirlo, tomando paulatinamente acciones y decisiones que los sitúen en condiciones de actuar con consciencia biosférica, como ciudadanía consciente y con sentido de pertenencia para actuar en beneficio de la sociedad en su conjunto, mediante el consenso de valores que se ponen en juego y que están determinados también por preguntas de distinta naturaleza.

Por lo anterior, la nueva finalidad de la enseñanza de las ciencias naturales es coadyuvar para potencializar en los estudiantes y profesores la cultura científica. En este sentido, la formulación de preguntas científicas escolares (PCE) orientadas a la promoción de aprendizajes superiores contribuyen para que el aula se transforme en un auténtico foro de discusión y debate direccionando la tarea de un aprendizaje auténtico, compartiendo el espacio en el que sus ideas, pensamientos, representaciones, concepciones, emociones, valores, cultura y reflexiones se van sistematizando, de tal forma que alcancen niveles, atributos y condiciones tales que la clase de ciencia sea un escenario de formación y desarrollo.

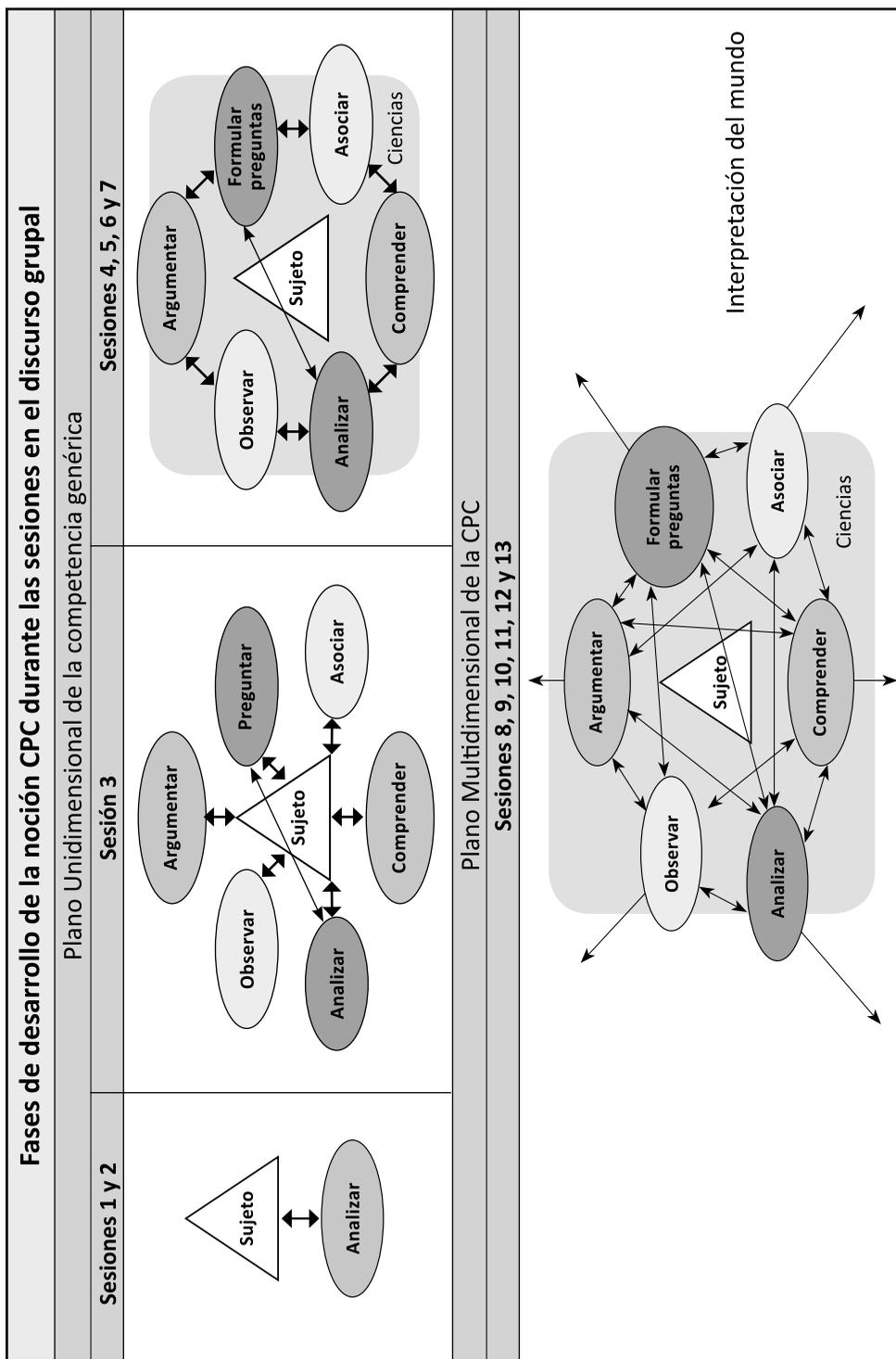
Con los datos analizados en este apartado pudimos constatar los beneficios que se dieron en la complejización de las representaciones docentes, donde se fue moviendo de forma transversal el discurso, de tendencias tradicionales a tendencias de carácter constructivista. Ha sido sumamente significativo, por una parte, los profesores de los tres colectivos incrementaron sus representaciones

en el PDPS y disminuyeron la categoría PDIO. Si bien es cierto, como ha sido mencionado con anterioridad, en los talleres no se buscó la predominancia de una categoría sobre la otra, sino por el contrario, los profesores transitaron por cada una de ellas, pues es tan importante los métodos, los instrumentos, los contenidos, como los sentidos y significados que los estudiantes le dan al contenido, la teoría y las ideas científicas.

Por otra parte, como ya ha sido mencionado a lo largo de este apartado, la visión de ciencia fue transformándose de una visión dogmática a un incremento considerable de una visión constructivista, lo cual nos hace referencia, de la importancia que van dando los profesores a la eficacia y calidad que en el diseño de las clases desde un ciclo del aprendizaje, va cristalizándose en aprendizajes más perdurables, profundos y más significativos.

Las diferentes investigaciones en didáctica de las ciencias que hemos citado en este capítulo, nos han revelado que una cosa es lo que el profesor piensa y otra lo que el profesorado comunica, y muchas veces ello no coincide con su actuación y experiencia de aula. Sin embargo, consideramos que un paso importante en los procesos formativos del profesorado es incidir en una reflexión sistematizada, o como lo ha llamado Malvaez y Labarrere (2013), un efecto de interacción. Esto es la variación que se da en el pensamiento; la complejización de las ideas cuando se reflexiona en colectivo, cuando se discuten y analizan los métodos de enseñanza y las concepciones de aprendizaje; y cuando se diseña en colectivo, desde un trabajo colegiado, con lecturas dirigidas. Por ello consideramos de suma importancia, potenciar los espacios en los cuales el colectivo docente tome decisiones desde la teoría científica.

Al concluir nuestro capítulo, resulta importante destacar que muchos de los aspectos que hemos presentado, en la actualidad resultan objeto de investigación en el campo de la didáctica de las ciencias experimentales y de las matemáticas, particularmente en nuestro laboratorio GRECIA. Nos hemos atrevido nuevamente a formularlos, sobre todo desde una perspectiva polémica, con la esperanza de que puedan incorporarse a la reflexión conjunta de los especialistas en evaluación, profesores de ciencias de diferentes niveles educativos –así como de otras disciplinas–, e igualmente a la de los profesionales de ciencia y profesorado en formación. Estamos convencidos de que ésta es una de las vías para generar nuevos y más potentes esquemas referenciales en nuestra actividad pedagógica, didáctica y de formación profesional en el área de las ciencias y las tecnologías en la educación primaria, secundaria y universitaria, camino en el que aún queda mucho por recorrer y que esperamos consolidar discretamente en próximas investigaciones.



Referencias bibliográficas

- 1070795, F.** (2009, marzo). Identificación, caracterización y promoción de competencias científicas en estudiantes de enseñanza media mediante el enfrentamiento a la resolución de problemas. Un aporte al mejoramiento de la calidad de los aprendizajes y a la Reforma (F. d. educación, Trans.). Santiago: FONDECYT.
- Angulo, F.** (2002). Aprender a Enseñar Ciencias: Análisis de una Propuesta para la Formación Inicial del Profesorado de Secundaria, basada en la metacognición. Barcelona. Tomado de <http://www.tdx.cat/handle/10803/4693>
- Blosser, P. E.** (2000). *How to ask the right questions*. Arlington, USA.: NSTA Press.
- Bryan, L. A. & Abell, S. K.** (1999). Development of professional knowledge in learning to teach elementary science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(2), 121-139. doi: 10.1002/(sici)1098-2736(199902)36:2<121::aid-tea2>3.0.co;2-u
- Camacho, J.** (2010). Concepciones del profesorado y promoción de la explicación Científica en la actividad escolar. Doctorado, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile. Tomado de http://www.uc.cl/sw_educ/educacion/grecia/
- Carlsen, W. S.** (1991). Questioning in Classrooms: A Sociolinguistic Perspective. *Review of Educational Research*, 61(2), 157-178. doi: 10.2307/1170533
- Copello, M. I. y Sanmartí Puig, N.** (2001). Fundamentos de un modelo de formación permanente del profesorado de ciencias centrado en la reflexión dialógica sobre las concepciones y las practicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 269-283.
- CPEIP.** (2003). Marco de la Buena Enseñanza. Santiago, Chile: MINEDUC. Tomado de <http://www.oei.es/noticias/spip.php?article2081>
- Cuellar, L.** (2010). La Historia de la Química en la Reflexión sobre la Práctica Profesional Docente. Un estudio de caso desde la enseñanza de la Ley Periódica.

Doctorado, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. Tomado de http://www.uc.cl/sw_educ/educacion/grecia/

- Chamizo, J. A. e Izquierdo, M.** (2007). Evaluación de Competencias de Pensamiento Científico. *Alambique*, 51, 9-19.
- Chin, C.** (2002). Student-Generated Questions: Encouraging Inquisitive Minds in Learning Science. *Teaching and Learning*, 23(1), 59-67.
- Chin, C.** (2007). Teacher questioning in science classrooms: Approaches that stimulate productive thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(6), 815-843. doi: 10.1002/tea.20171
- Chin, C. & Brown, D. E.** (2002). Student-generated questions: a meaningful aspect of learning in science. [Article]. *International Journal of Science Education*, 24(5), 521-549. doi: 10.1080/09500690110095249
- Chin, C. & Chia, L. -G.** (2004). Problem-based learning: Using students' questions to drive knowledge construction. *Science Education*, 88(5), 707-727. doi: 10.1002/sce.10144
- Chin, C. y Chia, L.-G.** (2006). Problem-based learning: Using ill-structured problems in biology project work. *Science Education*, 90(1), 44-67. doi: 10.1002/sce.20097
- Chin, C. & Osborne, J.** (2008). Students' questions: a potential resource for teaching and learning science. *Studies in Science Education*, 44(1), 1-39. doi: 10.1080/03057260701828101
- Chin, C. & Osborne, J.** (2010). Students' questions and discursive interaction: Their impact on argumentation during collaborative group discussions in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(7), 883-908. doi: 10.1002/tea.20385
- Dillon, J. T.** (1985). Using questions to foil discussion. *Teaching and Teacher Education*, 1(2), 109-121.
Doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0742-051X\(85\)90010-1](http://dx.doi.org/10.1016/0742-051X(85)90010-1)
- Edwards, D. & Mercer, N.** (1988). El conocimiento compartido: el desarrollo de la comprensión en el aula. Barcelona, España: Ediciones Paidós Iberica, S.A.
- FONDECYT.** (2009 marzo). Identificación, caracterización y promoción de competencias científicas en estudiantes de enseñanza media mediante el enfrentamiento a la resolución de problemas. Un aporte al mejoramiento de la calidad de los aprendizajes y a la Reforma (F. d. educación, Trans.). Santiago: FONDECYT.

- Graesser, A. C., Olde, B., Pomeroy, V., Whitten, S. & Lu, S.** (2005). Inferencias y preguntas en la comprensión de textos científicos. *Tarbiya. Revista de Investigación e Innovación Educativa del Instituto Universitario de Ciencias de la Educación.*, 103-128.
- Graesser, A. C. & Olde, B. A.** (2003). How does one know whether a person understands a device? The quality of the questions the person asks when the device breaks down. *Journal of Educational Psychology*, 95(3), 524-536. doi: 10.1037/0022-0663.95.3.524
- Graesser, A. C. & Person, N. K.** (1994). Question Asking during Tutoring. *American Educational Research Journal*, 31(1), 104-137.
- Henao, B. & Stipcich, M. S.** (2008). Educación en ciencias y argumentación: la perspectiva de Toulmin como posible respuesta a las demandas y desafíos contemporáneos para la enseñanza de las Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 7, 47-62.
- Izquierdo-Aymerich, M., Baig, M., Carrió, M., Ferrer, P., Gené, J., González, A., et al.** (2009). Guía para la Evaluación de la competencia Científica en Ciencias, Matemáticas y tecnología (pp. 165-165). Barcelona, España: Agencia para la Calidad del Sistema de Universidades de Catalunya.
- Izquierdo, M.** (2000). Fundamentos Epistemológicos. In F. Perales y P. Cañal (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 35-64). Alcoy: Marfil.
- Joglar, C., Malvaez, O., Ravanal, E., Quintanilla, M., Labarrere, A. y Brunstein, J.** (2011, 5 a 9, septiembre). *Tránsito en los planos del desarrollo de profesores de biología en talleres de reflexión docente*. Paper presented at the III Congreso Internacional Nuevas Tendencias en la Formación Permanente del Profesorado. Políticas y Modelos en la Formación Docente, Barcelona, España.
- Joglar, C., Quintanilla, M. y Malvaez, O.** (2012, 11 a 16 de junio). El tránsito en los planos del pensamiento desde un proceso reflexivo grupal de docentes de biología en servicio. Paper presented at the I Simpósio Internacional de Enseñanza de las Ciencias, Virtual- Minho, Portugal.
- Labarrere, A.** (2011, 27 de agosto de 2011). De la competencia al sujeto competente y más allá. Una Historia en tres partes, Santiago: Chile.
- Labarrere, A. y Quintanilla, M.** (2002). La solución de problemas científicos en el aula. Reflexiones desde los planos de análisis y desarrollo. *Revista Pensamiento Educativo*, 30, 121-138.
- Lederman, N.** (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.

- Maiztegui, A., González, E., Tricárico, H., Salinas, J., Pessoa de Carvalho, A. y Gil Pérez, D.** (2001). La formación de los profesores de ciencias en Iberoamérica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 24, 163-187.
- Malvaez, O.** (2013). Concepciones de profesores de ciencias en ejercicio acerca del desarrollo: una aproximación desde la reflexión de su práctica. Doctorado, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.
- Manzi, J., González, R. y Sun, Y. C.** (2011). La Evaluación Docente en Chile (F. d. C. Sociales, Trans.) (pp. 262). Chile: MIDEU. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Márquez, C. y Rocca, M.** (2006). Plantear preguntas: un punto de partida para aprender ciencias. *Revista Educación y Pedagogía*, 18(45), 63-71.
- Mary Lee, M.** (1999). Productive questions: Tools for supporting constructivist learning. *Science and Children*, 36(8), 24-27+.
- Mayr, E.** (2005). Biología, Ciencia única. Reflexoes sobre a autonomia de uma disciplina científica. Sao Paulo: Brasil: Companhia das Letras.
- Mellado, V.** (2003). Cambio Didáctico del Profesorado de Ciencias Experimentales y Filosofía de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(33), 343-358.
- Mellado, V.** (2004). ¿Podemos los profesores de ciencias cambiar nuestras concepciones y prácticas docentes? Paper presented at the I Congreso Internacional de enseñanza de la Biología, Buenos Aires. <http://www1.unex.es/eweb/dcem/com04baire.pdf>
- Michaels, S., O'Connor, C. & Resnick, L. B.** (2007). Deliberative Discourse Idealized and Realized: Accountable Talk in the Classroom and in Civic Life. *Studies in Philosophy and Education*, 27(4), 283-297. doi: 10.1007/s11217-007-9071-1
- Mineduc.** (2007). PISA 2006: Rendimientos de estudiantes de 15 años en Ciencias, Lectura y Matemática. Santiago. Bases Curriculares Educación Básica, 439/2012 C.F.R. (2012a).
- MINEDUC.** (2012b). Estándares Orientadores para Carreras de Pedagogía en Educación Media. Santiago, Chile: Retrieved from <http://www.cpeip.cl/usuarios/cpeip/File/libroestandaresvale/libromediafinal.pdf>
- OCDE.** (2010). PISA 2009. Results: What Students Know and Can Do Student Performance Reading, Mathematics and Science (Volume 1) (Vol. 2011).
- OCDE.** (2010). PISA 2009. Results : Learning Trends. Changes in Student Performance Since 2000 (volume V) (Vol. V, pp. 210-210). PISA.
- Osborne, J. & Dillon, J.** (2008). Science education in Europe: Critical reflections: a report to the Nuffield Foundation (pp. 30-30). London: Nuffield Foundation.

- Otero, J. & Graesser, A. C.** (2001). PREG: Elements of a Model of Question Asking. *Cognition and Instruction*, 19(2), 143-175. doi:10.1207/s1532690xci1902_01
- Otero, M. R.** (2006). Emociones, sentimientos y razonamientos en Didáctica de las Ciencias. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 1(1), 24-53.
- Pajares, M. F.** (1992). Teachers' beliefs and educational research: Cleaning up a messy construct. *Review of Educational Research*, 62(3), 307-362.
- Perafán, G. A.** (2005). Epistemologías del profesor de ciencias sobre su propio conocimiento profesional. *Enseñanza de las ciencias, (Número Extra)*, 1-4.
- Porlán, R. y Rivero, A.** (1998). El Conocimiento de los profesores: Una propuesta formativa en el área de ciencias: Díada.
- Quintanilla, M.** (2006). Identificación, caracterización y evaluación de competencias de pensamiento científico desde una visión naturalizada de la ciencia. In M. Quintanilla y A. Adúriz-Bravo (Eds.), (pp. 18-42). Santiago: Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Quintanilla, M., Labarrere, A., Díaz, L., Santos, M., Raval, E., Cuellar, L., et al.** (2008, 09 a 12 de septiembre). Identificación, caracterización y promoción de competencias de pensamiento científico mediante la resolución de problemas en estudiantado de secundaria. Paper presented at the XXIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Almería, España.
- Quintanilla, M., Angulo, F., Díaz, L., Joglar, C., Labarrere, A. y Raval, E.** (2012). Las Competencias de Pensamiento Científico. Desde las "voces" del aula (Vol. 1). Santiago de Chile: Editorial Bellaterra Ltda.
- Raval, E.** (2009). Racionalidades epistemológicas y didácticas del profesorado de biología sobre la enseñanza y aprendizaje del metabolismo: aporte para el debate de una nueva clase de ciencias. Doctorado, Universidad Academia de Humanismo Cristiano, Santiago, Chile.
- Raval, E. y Quintanilla, M.** (2010). Caracterización de las Concepciones Epistemológicas de Profesorado de Biología En ejercicio sobre la Naturaleza de la Ciencia. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 111-124.
- Raval, E., Quintanilla, M., Labarrere, A., Copello, M. I., Joglar, C. y Santos, M.** (2008, 07-10 de septiembre). Secuencia de Enseñanza y Promoción de competencias de pensamiento científico en la enseñanza del metabolismo en tres profesoras de biología. Paper presented at the VIII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, Barcelona, España.

- Roca, M., Márquez, C. y Sanmartí Puig, N.** (2013). Las preguntas de los alumnos: una propuesta de análisis. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), 95-114.
- Sandín, M. P. E.** (2003). Investigación Cualitativa en Educación. Fundamentos y tradiciones. Madrid: McGraw-Hill.
- Sanmartí, N. y Márquez, C.** (2012). Enseñar a plantear preguntas investigables. *Alambique* (enero-febrero-marzo), 27-36.
- Silvestri, A.** (2006). La formulación de preguntas para la comprensión de textos: Estudio experimental. *Revista signos*, 39(62). doi: 10.4067/s0718-09342006000300008
- Toulmin, S.** (1977). La comprensión humana. El uso colectivo y la evolución de los conceptos: Alianza.
- Unesco.** (2009). SERCE: Aportes para la enseñanza de las Ciencias Naturales Aportes para la enseñanza de las Ciencias Naturales (pp. 140-140). Santiago: Chile.
- Valenzuela, J.** (2008). Habilidades de pensamiento y aprendizaje profundo. *Revista Iberoamericana de Educación*, 46(7), 4-0.
- Vygotsky, L. S.** (1979). El desarrollo de los procesos psicológicos superiores (F. S., Trans. 3a. ed.). Barcelona, España.: Libergraf.
- Wertsch, J. V.** (1988). Vygotsky y la formación social de la mente. Barcelona, España: Paidós.
- Zabala, A. y Arnau, L.** (2008). 11 ideas claves. Cómo aprender y enseñar competencias. ¿Hasta qué punto una enseñanza basada en competencias representa una mejora de los modelos existentes? Barcelona: Ed. Graó.
- Zimmerman, C.** (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review*, 27(2), 172-223. doi: DOI: 10.1016/j.dr.2006.12.001
- Zimmermann, E.** (2000). The structure and development of science teachers' pedagogical models: Implications for teacher education. In J. K. Gilbert y C. J. Boulter (Eds.), (pp. 325-341). Dordrecht: Netherlands: Kluwer Academics Publishers.

Capítulo 6

Una propuesta didáctica fundamentada en la Narrativa Científica y en la promoción de competencias para la enseñanza del Enlace Químico

*Roxana Jara, Mario Quintanilla, Cecilia Morales,
Carolina Arredondo, Marianela Pérez, Beatriz Díaz*

Contenido

- *Resumen*
- *Introducción*
- *Justificación teórica de la Unidad Didáctica*
 - *Objetivos*
 - *Destinatarios*
 - *Planificación docente*
- *Desarrollo de la Unidad Didáctica*
 - *Exploración*
 - *Introducción*
 - *Estructuración*
 - *Aplicación*
- *Consideraciones finales*
 - *Anexo*
- *Referencias bibliográficas*

Resumen

Esta Unidad Didáctica se fundamenta en la incorporación de las Narrativas Científicas y presenta una secuencia de enseñanza-aprendizaje para el Enlace Químico. Contiene una serie de actividades que tienen como principal objetivo que los estudiantes de educación media comprendan el enlace químico como un concepto estructurante de la química (Gagliardi y Giordan, 1986) que permite la comprensión de una serie atributos de las sustancias que van desde su aspecto hasta las propiedades de las mismas. El trabajo con narrativas permitirá al profesor de química promover competencias de pensamiento científico en relación al lenguaje y los procesos de comunicación científica en el aula.

6.1 Introducción

Más allá de los contenidos que se trabajan en clases, y que están declarados en los planes y programas vigentes, consideramos que para lograr que los estudiantes desarrollen habilidades propias del quehacer científico, se deben incorporar estrategias didácticas acordes para ello, particularmente para aquellos conceptos que resultan complejos para los estudiantes.

La química en la educación secundaria intenta que los estudiantes comprendan y analicen las propiedades y transformaciones de la materia. Para esto, tienen que enfrentarse a un gran número de leyes y conceptos nuevos fuertemente abstractos, necesitan establecer conexiones entre ellos y entre los fenómenos estudiados, además deben utilizar un lenguaje científico altamente simbólico y formalizado junto a modelos de representación analógicos que ayudan a la representación de lo no observable (Pozo, Gómez Crespo, 1998).

Diversas investigaciones hacen evidente que el enlace químico constituye una noción científica compleja de enseñar y aprender en la química escolar (Riboldi, Pliego, Odetti, 2004; De Posada, 1999; Valcárcel, Sánchez, Zamora 2005), debido a la naturaleza abstracta del mismo y que su explicación se basa en una comprensión del comportamiento electrónico de los átomos que lo forman. En este contexto se le da esta denominación de “estructurante”, en razón a que en ella confluyen una serie de conceptos importantes de la disciplina y es por ello que se toma como postura didáctica para su estudio, la resolución de problemas en el contexto del conocimiento científico escolar (García 2004, citado por Enciso y García, 2006). En este caso, este concepto estructurante, permite la comprensión de una serie atributos de las sustancias que van desde su aspecto hasta las propiedades de las mismas.

6.2 Justificación teórica de la Unidad Didáctica

Desde la perspectiva de los procesos de comunicación científica en el aula, es posible identificar y reconocer cómo los estudiantes, a través de actividades con textos de resolución de duda (Izquierdo, 2005), pueden construir conceptos tan complejos como lo es la noción científica de enlace químico y llegar a entender cómo se generan, a nivel microscópico, los diferentes tipos de enlace, aplicando para ello, conceptos estudiados con anterioridad, como la configuración electrónica.

Las estrategias didácticas seleccionadas, estructuradas en el ciclo constructivista del aprendizaje (Jorba y Sanmartí, 1996), permiten promover la comprensión de estos conceptos en la actividad científica escolar, entendida como una actividad basada en modelos (Adúriz-Bravo e Izquierdo 2009b). Esta opción se fundamenta en la promoción de competencias de pensamiento científico como la resolución de problemas, el pensamiento crítico y otras, relacionadas con un enfoque comunicativo interpretativo, esto es, la promoción de la descripción, explicación, justificación, argumentación (Jorba 2000; Camacho y Quintanilla, 2008), adoptándose la descripción de cada una de ellas tal como aparece en la Tabla 1.

Describir	<i>Es producir enunciados que enumeren cualidades, propiedades, características, etc., de un objeto, organismo o fenómeno.</i>
Explicar	<i>Consiste en producir razones o argumentos de manera ordenada según una relación causa-efecto.</i>
Justificar	<i>Es producir razones o argumentos en relación a un corpus de conocimiento o teoría.</i>
Argumentar	<i>Es también producir razones o argumentos con la finalidad de convencer.</i>

Tabla 1. Competencias asociadas al enfoque comunicativo interpretativo.
(Extraído de Jorba, 2000).

Esta Unidad Didáctica incluye una serie de actividades secuenciadas y estructuradas en el Ciclo Constructivista del Aprendizaje, las cuales estuvieron destinadas a:

- a. *Hacer explícitos los esquemas conceptuales previos* de los estudiantes, con el objetivo de dar valor a los mismos, en función de lo que el docente desea desarrollar, para utilizarlos como guía en la secuenciación posterior de actividades.
- b. *Provocar en los estudiantes situaciones de conflicto cognitivo*, a partir de preguntas y situaciones problematizadoras desde la lectura de las narrativas científicas.

- c. *Proporcionar a los estudiantes nuevos conocimientos* que le permitan resolver las situaciones de conflictos anteriores, a partir de la incorporación de actividades experimentales simples.
- d. *Conceptualizar y aplicar desde lo aprendido*, conectando con temáticas anteriores, y poder establecer un nexo entre el fenómeno estudiado y el nivel microscópico.

Por otra parte, una comprensión de que saber y hacer ciencias, implica a la vez, saber hablarlas y también escribirlas, la incorporación de narrativas para la enseñanza constituye una actividad valiosa para la enseñanza de la química, ya que promueve el desarrollo de competencias argumentativas y comunicativas, además de estimular la reflexión profunda del estudiantado acerca de una noción científica en particular.

6.3 Objetivo

El objetivo de esta Unidad Didáctica es el desarrollo de competencias asociadas a un enfoque comunicativo interpretativo, en la aplicación del modelo de enlace químico a las propiedades de las sustancias.

Cada una de las actividades a desarrollar durante la implementación de esta unidad didáctica, permitirá gradualmente concretar el objetivo descrito.

6.4 Destinatarios

Las temáticas aquí presentadas corresponden a ser aplicadas a estudiantes de primer año de enseñanza media 14-15 años.

6.5 Planificación docente

La unidad se estructura en cuatro actividades, las cuales se detallan en la Tabla 2.

Sesión de aula	Tipo de narrativa	Etapas del ciclo de aprendizaje	Finalidades de la actividad
I	<i>Narrativa (con retórica problemática)</i> Incorpora algunas propiedades de los compuestos en relación a las propiedades de los elementos que lo conforman sin combinar.	Exploración	Identificar las ideas previas de los estudiantes. Determinar si se entiende la unión química entre átomos como proceso espontáneo. Construcción del concepto de enlace químico.
II	<i>Narrativa (con retórica problemática)</i> Incorpora una Tabla con propiedades físicas y la guía problematiza en relación a cómo estas sustancias se repiten en un mismo grupo de sustancias.	Introducción de nuevos conocimientos	Clasificación de las sustancias según propiedades físicas. Agrupamiento de las sustancias según propiedades físicas comunes. Identificación de los tipos de enlaces químicos.
III	<i>Construcción de Narrativa</i> A partir de la actividad experimental se construyó una narrativa de lo realizado en el laboratorio por los estudiantes.	Estructuración de los contenidos	<i>Actividad Experimental</i> Identificar propiedades físicas de las sustancias según su tipo de enlace químico.
IV	<i>Texto Problemático-Histórico</i> Formación a nivel microscópico de los diferentes tipos de enlace, a partir del análisis de conceptos como la estructura de Lewis y el octeto.	Aplicación	Explicación de los tipos de enlace químico a nivel microscópico. Definición y sistematización de cada uno de los tipos de enlace.

Tabla 2. Sesiones de aplicación (clases) con sus respectivas finalidades.

6.6 Desarrollo de la Unidad Didáctica

FASE EXPLORACIÓN

ACTIVIDAD 1

“DIME CON QUIÉN ANDAS Y TE DIRÉ QUIÉN ERES”

Se debe considerar que antes de empezar cualquier secuencia de enseñanza, es importante identificar las ideas previas de los estudiantes **¿Qué sabemos sobre la unión de los átomos?** Para esto, se presenta una narrativa de duda retórica (Izquierdo, 2005) en la cual aparecen cuestionamiento acerca de las propiedades de los elementos individuales versus, estos mismos elementos “unidos”.

Guía para el estudiante:

Orientaciones para desarrollar la actividad

- Recibirás un texto, el cual tendrás que leer detenidamente y contestar de manera individual las preguntas que a continuación se presentan.
- Reúnete en un grupo pequeño de compañeros y analiza detenidamente la información que allí aparece.
- Finalmente desarrollen la guía que se adjunta, la cual será presentada al resto de la clase de manera grupal.

Estamos rodeados de distintas sustancias con las cuales convivimos a diario y nos permiten realizar distintas actividades. Estas sustancias se encuentran en distintos estados y con distintos grados de pureza. Por ejemplo, tenemos los metales como el cobre, el cual lo usamos en forma de cables que conducen la corriente eléctrica. Los alimentos, que constituyen una mezcla de sustancias, nos ayudan a generar la energía para realizar nuestros procesos biológicos, y así una serie de otras sustancias, las cuales pueden estar aisladas como el cobre o formando compuestos químicos, como es el caso del agua. Como ya lo hemos estudiado antes el agua es de vital importancia ya que compone cerca del 60 por ciento de nuestro cuerpo, posee propiedades físicas y químicas benéficas para el organismo y además es el medio ideal para el transporte de sustancias. Es por ello indispensable en los procesos de digestión, absorción, distribución de nutrientes, transporte y desecho de sustancias tóxicas. El agua se forma a partir de hidrógeno y oxígeno gaseoso. ¿Te has detenido a pensar alguna vez en la tremenda diferencia que existe entre las propiedades del hidrógeno y el oxígeno gaseosos y las propiedades del agua?

Por otra parte, si nos detenemos en otros dos elementos, como el cloro y el sodio, y analizamos sus propiedades, veremos que ambos son extremadamente reactivos y pueden ser altamente peligrosos si no se les usa con precaución. El cloro es capaz de destruir el tejido vivo y puede ser dañino para la salud y aun mortal. En la primera guerra mundial fue usado como gas letal.

El sodio es un metal altamente reactivo, es por esto que se debe guardar bajo parafina para evitar su contacto con la humedad del aire. Un pequeño trozo del tamaño de una lenteja puesto en contacto con el agua se inflama. Cuando estos elementos –altamente reactivos por separado– forman el compuesto llamado cloruro de sodio, NaCl, (principal componente de la sal de mesa), el cual es usado diariamente para sazonar nuestra comida. El cloruro de sodio, además, puede disolverse en el agua formando una disolución incolora, conocida como salmuera. ¿De dónde surge esta diferencia? ¿Por qué piensas que este compuesto es tan inofensivo en comparación con los respectivos elementos que lo conforman?

En relación a la lectura anterior responde las siguientes preguntas:

1. ¿Qué diferencias conoces entre las SUSTANCIAS mencionadas en el texto, esto es, agua y cloruro de sodio?
2. Explica qué piensas que le ocurre al cloruro de sodio cuando se agrega a un vaso que contiene agua. Intenta hacer una representación microscópica usando modelo de partículas.
3. Supongamos que el sistema mostrado a continuación (Figura 1) contiene los átomos de sodio y cloro por separado, y este sistema sufre una transformación espontánea, ¿cuál de las siguientes (A o B) crees tú que sería la representación final del mismo? ¿Por qué?

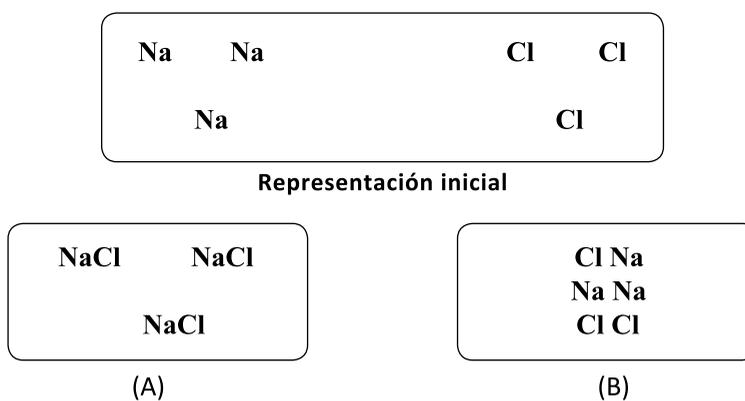


Figura 1

Respuesta:

4. Haz una lista de ideas de lo que piensas en cuanto a qué se deben las diferencias entre los compuestos, (agua, cloruro de sodio), en relación a los elementos que los componen (hidrógeno, oxígeno y sodio, cloro; respectivamente).

¡Prepárate para compartir tus ideas al resto de la clase!

FASE INTRODUCCIÓN**ACTIVIDAD 2**

“CLASIFICANDO SUSTANCIAS PURAS A PARTIR DE SUS PROPIEDADES FÍSICAS”¹⁸

La finalidad de esta actividad es que los estudiantes puedan deducir que las propiedades físicas dependen del tipo de enlace químico presente. Además podrán establecer, a través de estas propiedades los tres tipos de enlace, mediante una clasificación de las sustancias sugeridas en la tabla de propiedades (ver Anexo, pág. 170). Finalmente en las preguntas se da énfasis al desarrollo de las habilidades declaradas inicialmente.

Guía para el estudiante:

Antes de comenzar la actividad, lee atentamente el siguiente texto.

Las sustancias puras se caracterizan por sus propiedades y composición, las cuales permiten reconocer y distinguir una sustancia de otra. Las propiedades de la materia se pueden agrupar en dos categorías: físicas y químicas.

Las *propiedades físicas* se pueden medir y observar sin que cambie la composición o identidad de las sustancias. Por ejemplo: es posible determinar el punto de fusión del hielo al calentar un trozo de él y registrar la temperatura

18 Esta actividad fue adaptada de otra generada en el contexto del proyecto FONDECYT 11070795 “Identificación, caracterización y promoción de competencias científicas en estudiantes de enseñanza media mediante el enfrentamiento a la resolución de problemas. Un aporte al mejoramiento de la calidad de los aprendizajes y a la reforma”.

a la cual se transforma en agua. Pero el agua es distinta del hielo sólo en apariencia, no en su composición, por lo que éste es un cambio físico; ya que es posible congelar el agua para recuperar el hielo original. Por lo tanto, el punto de fusión de una sustancia es una propiedad física. Entre otros ejemplos de propiedades físicas se encuentran: la solubilidad, el punto de ebullición y fusión, el color, etc.

- Las *propiedades químicas* describen la forma en que una sustancia puede cambiar o reaccionar para formar otras sustancias. Cuando el gas hidrógeno combustiona en presencia de oxígeno para formar agua, describe una propiedad química, ya que para observar esta propiedad se debe realizar un cambio químico, en este ejemplo, la combustión. Las propiedades físicas comunes que poseen las sustancias nos permiten clasificarlas en diferentes categorías y es el desafío que tienes hoy junto a tus compañeros de grupo.

Orientaciones para el desarrollo de la actividad

- Recibirás una Tabla, que contiene, por separado, información relevante sobre algunas propiedades físicas de distintas sustancias tales como: punto de fusión, punto de ebullición, solubilidad en agua, conductividad, etc.
- Reúnete en un grupo pequeño y analiza detenidamente las propiedades de cada sustancia.
- En el grupo planteen algunos criterios que les permitan clasificar las sustancias atendiendo a la información científica (propiedades físicas). Esta clasificación se denomina de primer orden (CPO). De esta manera, las sustancias quedarán agrupadas según sus criterios. Un criterio podría ser el punto de fusión (Alto, medio y bajo).
- Discutan las clasificaciones que realizaron y los criterios que les permitieron hacerlo. Lleven a cabo una última clasificación buscando un criterio distinto y que permita separarlas en tres categorías o grupos. Esta clasificación se denomina de segundo orden (CSO).
- Finalmente desarrollen la guía que se adjunta (es importante que no dejen ninguna pregunta sin contestar).

ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE
CLASIFICACIÓN DE PRIMER ORDEN

Propiedad Física seleccionada N° 1:

Criterios de Clasificación elegidos por el grupo:

Detalle de la clasificación de las sustancias:

Propiedad Física seleccionada N° 2:

Criterios de Clasificación elegidos por el grupo:

Detalle de la clasificación de las sustancias:

Propiedad Física seleccionada N° 3:

Criterios de Clasificación elegidos por el grupo:

Detalle de la clasificación de las sustancias:

CLASIFICACIÓN DE SEGUNDO ORDEN
Distribución de las Sustancias Puras en distintas categorías

Categoría N° 1	Categoría N° 2	Categoría N° 3

Clasificación de las sustancias en tres categorías.

Categoría N° 1	Categoría N° 2	Categoría N° 3

Criterios de clasificación:

Discusión de los resultados:

1. ¿Qué argumentos darían para justificar los criterios utilizados al clasificar las sustancias en las tres categorías anteriores?

2. ¿Cuáles son las *características comunes* de las sustancias de cada grupo, según su fórmula química. Adelanta una posible explicación

3. ¿Cómo explicarías la presencia de las propiedades físicas comunes (Punto de ebullición, punto de fusión y solubilidad) en cada conjunto de sustancias?

FASE DE ESTRUCTURACIÓN

ACTIVIDAD 3

“CLASIFICANDO SUSTANCIAS IÓNICAS, COVALENTES Y METÁLICAS ¿EN QUÉ SE PARECEN? ¿EN QUÉ SE DIFERENCIAN?”

La finalidad de esta actividad es que los estudiantes puedan aproximarse experimentalmente a las propiedades físicas analizadas la sesión anterior. Además podrán conocer y analizar las sustancias estudiadas. El reporte de esta actividad se hará en función a una narrativa generada por ellos, en la cual se evaluarán las habilidades declaradas inicialmente, que van de la descripción hasta la argumentación.

Guía para el estudiante:

Durante las dos últimas sesiones hemos estudiado algunos aspectos asociados a la noción de enlace químico. Primero analizamos acerca de las propiedades del sodio y del cloro por separado, y cómo estas propiedades cambian cuando se unen formando el NaCl y pudimos definir el enlace químico como una interacción que se genera por fuerzas atractivas y repulsivas existentes entre dos o más átomos que los mantiene unidos en las moléculas. El balance de esas fuerzas confiere estabilidad dentro de las moléculas. También vimos que un mismo grupo de sustancias tenían propiedades físicas similares como punto de fusión y ebullición alto, alta conductividad y ser no solubles en agua. Esto nos permitió agrupar las sustancias en tres categorías: **metálicas, iónicas y covalentes**.

Hoy analizaremos algunas de estas propiedades y sustancias en el laboratorio. ¿Qué crees sucederá al mezclar una muestra de una sustancia, como por ejemplo, cloruro de sodio, en distintos solventes?

Conocer las propiedades físicas y la naturaleza del enlace químico, ¿nos podría permitir solucionar un problema como éste?: Un alumno confunde dos botellas que contienen dos líquidos incoloros, agua y benceno, pero sin etiquetar ¿es posible diferenciar estos líquidos?

Para esta actividad contaremos con un solvente, H₂O y algunas sustancias que se presentan a continuación.

- NaCl, Cu, KI, Fe, FeCl₃, I₂, Parafina, CCl₄, Al

a) ¿Qué puedes decir de este solvente en relación a su enlace químico?

b) Identifica una sustancia iónica, covalente y metálica de las sustancias disponibles. Describe estas sustancias. ¿En qué se parecen? ¿En qué se diferencian?

c) Puede predecir que sucederá al mezclar algunas de estas sustancias con agua. Justifica.

d) Si una sustancia no se disuelve en agua, ¿podrá disolverse en alguno de los otros líquidos disponibles? En cuál. Argumenta.

Otra de las propiedades que trabajamos en la sesión anterior fue la conductividad. Diseña una actividad que le permita estudiar esta propiedad en las sustancias disponibles.

Después de haber realizado tu práctica experimental te vamos a pedir que narres tu experiencia. Para esto, escribe como mínimo una plana toda la actividad de laboratorio que acabas de realizar, sin dejar ningún detalle. Cuenta lo que hiciste, lo que observaste, lo que analizaste, cómo lo relacionas con lo que ya sabes, cómo te sentiste y qué aprendiste.

FASE DE APLICACIÓN

ACTIVIDAD 4

"EL ENLACE QUÍMICO, UN CONCEPTO FUNDAMENTAL PARA EL ESTUDIO DE LAS SUSTANCIAS"¹⁹

La finalidad de esta actividad es que el estudiante pueda aplicar conceptos revisados anteriormente, como la configuración electrónica y otros de las actividades anteriores como las propiedades asociadas en el tipo de enlace, a la conformación de los tipos de enlace a nivel microscópico.

Guía para el estudiante:

Hasta ahora hemos avanzado en el tema de enlace químico, para esto contábamos inicialmente con conocimientos previos sobre la Tabla periódica, simbología y ubicación de los elementos en grupos y familias; características de los átomos: electrones de valencia, niveles energéticos, carácter iónico, carácter metálico, y la probabilidad de formación de iones para entrar al entendimiento de los mecanismos que rigen la formación de enlaces hacia la constitución de la materia.

Un concepto básico en química es el estudio de cómo los átomos forman compuestos. La mayoría de los elementos que conocemos existen en la naturaleza formando agrupaciones de átomos iguales o de distintos tipos, enlazados entre sí.

Para contestar a la interrogante, ¿por qué las sustancias en estado elemental pueden ser tan diferentes que cuando se encuentran formando compuestos? Analizamos el caso del Sodio y Cloro libres y vimos que éstos, en estado libre, son muy reactivos; sin embargo ¿por qué la sal (NaCl) es tan estable? Las respuestas que surgieron fueron en relación a que al estar unidos los átomos, sus propiedades cambiaban y a esta unión, o interacción, se le denomina enlace químico.

Al término de la primera actividad, de manera grupal establecimos que ENLACE QUÍMICO, corresponde a una *interacción que se genera por fuerzas atractivas y repulsivas existentes entre dos o más átomos que los mantiene unidos en las moléculas. El balance de esas fuerzas confiere estabilidad dentro de las moléculas.*

La comprensión del enlace químico es de vital importancia, porque estos conocimientos nos serán de gran utilidad para identificar que las condiciones

19 Texto extraído y adaptado de <http://www.campus-oei.org/fpciencia/art08.htm>

bajo las cuales se dan las uniones de los átomos, determina el aspecto y las propiedades de las sustancias que se forman y que estas uniones también dependerán, en gran medida, de la naturaleza eléctrica de los elementos. La manera en que los átomos se enlazan ejerce un efecto profundo sobre las propiedades físicas de las sustancias. La diversidad de propiedades existentes, como las estudiadas en la segunda actividad, por ejemplo temperaturas de fusión y ebullición, solubilidad en diferentes líquidos o la conductividad hace que resulte difícil clasificar en unos pocos grupos a todas las sustancias; sin embargo al finalizar la actividad, a pesar de esta dificultad fue posible clasificar a la mayor parte de las sustancias en tres grandes grupos que evidencian la existencia de diferentes formas fundamentales de unión entre los átomos, es decir de tres tipos de enlace: **ENLACE IÓNICO, COVALENTE Y METÁLICO.**

Entonces ahora que ya sabemos que es el enlace químico y los tipos de enlace que existen debemos preguntarnos: **¿Cómo se genera?, ¿Qué lo facilita?, ¿Qué lo impide?, ¿Por qué unos son más fuertes que otros?**

Si comprendemos el mecanismo del enlace químico, este conocimiento puede llevarnos a controlar **la formación o ruptura de estos enlaces**; por consiguiente, la formación o deformación de sustancias, dependiendo siempre de lo que estemos necesitando.

Para comprender cómo se forman los enlaces químicos podemos recurrir a dos conceptos importantes para el estudio de esta temática los cuales son la Regla del octeto y estructura de Lewis.

A inicios del siglo XX, en 1916, de manera independiente, los científicos **Walter Kossel y Gilbert Lewis** concluyeron que la tendencia que poseen los átomos de lograr estructuras similares a las del gas noble más cercano explica la formación de los enlaces químicos. Esta conclusión es mundialmente conocida como la **Regla del Octeto** y se enuncia de la siguiente manera:

“Cuando se forma un enlace químico los átomos reciben, ceden o comparten electrones de tal forma que **la capa más externa de cada átomo contenga ocho electrones**, y así adquiere la estructura electrónica del gas noble más cercano en el sistema periódico”.

No obstante, hay muchas excepciones a esta regla y hasta se han logrado sintetizar algunos compuestos de los gases nobles. *En 1962, el químico canadiense N. Bartlett pudo obtener el primer compuesto del Xenón. Puedes averiguar, si te interesa, cómo es este compuesto.*

Una de las claves de la comprensión de la fuerza motriz del enlazamiento químico, fue el descubrimiento de los gases nobles y su comportamiento químico relativamente inerte. Si realizas la configuración electrónica de los gases nobles ¿qué coincidencias puedes encontrar en ellas? ¿Qué podemos esperar de estos átomos con relación a la formación de enlaces químicos?

Si realizas la configuración electrónica de algunos iones conocidos como el cloruro Cl^- o el ion sodio Na^+ ¿Cumplirán estas especies con la regla del octeto? ¿Por qué crees que estas especies ganan o pierden electrones?

Otro concepto importante para entender la naturaleza del enlace químico es la estructura de Lewis, la cual permite ilustrar de manera sencilla los enlaces químicos. En ella, el símbolo del elemento está rodeado de puntos

o pequeñas cruces que corresponden al número de electrones presentes en la capa de valencia. La imagen a continuación **Br** representa la estructura de Lewis del Br. ¿Por qué se dibujan 7 puntos rodeando el Br? Explica.

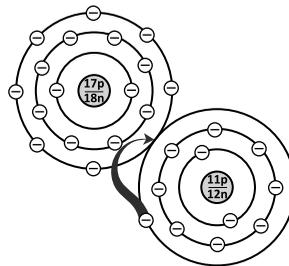
¿Cómo será la estructura de Lewis de los átomos Na y Cl? ¿En qué se diferencian de las estructuras de Lewis de sus respectivos iones? Argumenta.

¿Por qué el modelo estructural de Lewis es muy importante a pesar de las excepciones existentes? ¿Qué importancia tienen los modelos en el estudio de las ciencias en la vida diaria? ¿Qué es un modelo? ¿Es importante para ti tener un modelo?

ENLACE IÓNICO

¿Cómo podemos representar el enlace iónico usando la estructura de Lewis? Observa la siguiente imagen e intenta representar la formación del NaCl.

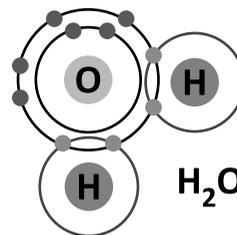
A partir de tu representación anterior, ¿Cómo definirías el enlace iónico? Explica.



Enlace Covalente

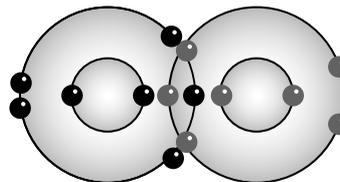
¿Cómo podemos representar el enlace covalente usando la estructura de Lewis? Observa la siguiente imagen e intenta representar la formación del H_2O .

A partir de tu representación anterior, ¿Cómo definirías el enlace covalente?



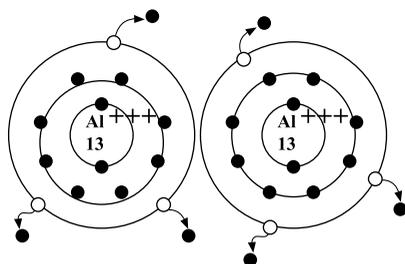
Enlaces Covalentes Múltiples

¿Cómo podemos representar el enlace covalente múltiple usando la estructura de Lewis? Observa la siguiente imagen e intenta representar la formación del enlace covalente múltiple en la molécula de nitrógeno, N_2 .



A partir de tu representación anterior, ¿Cómo definirías el enlace covalente múltiple? Explica.

Enlace Metálico



Las propiedades de los metales son muy conocidas y una muy importante es su carácter conductor del calor y la electricidad en estado sólido. El tipo de enlace existente entre los átomos de un metal se denomina, por razones evidentes, **enlace metálico**.

A partir de la representación anterior, ¿Cómo definirías el enlace metálico? Explica.

En resumen, el estudio de las propiedades de las sustancias nos permite agruparlas en tres grandes tipos poniendo en evidencia la existencia de tres formas distintas de interacción entre partículas intramolecular: enlace iónico, enlace covalente y enlace metálico, además de las interacciones intermoleculares que estudiarás más adelante.

ANEXO

PROPIEDADES FÍSICAS DE ALGUNAS SUSTANCIAS PURAS							
Nº	Sustancia	Fórmula	Punto fusión (°C)	Punto ebullición (°C)	Conductividad	Solubilidad (agua)	Aplicaciones
1.	Cloruro de sodio	NaCl	801	1465	Conduce en disolución acuosa	Soluble	Es responsable de la salinidad del océano y del fluido extracelular de muchos organismos. También es el mayor componente de la sal comestible, es usada como condimento de comida.
2.	Cromo	Cr	1857	2375	Alta	No es soluble	Más de la mitad de su producción total se destina a productos metálicos. Está presente en diversos catalizadores importantes. Principalmente se utiliza en la creación de aleaciones de hierro, níquel o cobalto. Al añadir el cromo se consigue aumentar la dureza y la resistencia a la corrosión de la aleación. En los aceros inoxidables, constituye el 10% de la composición final.
3.	Yoduro de potasio	KI	723	1330	Conduce en disolución acuosa	Soluble	Es utilizada en fotografía y para el tratamiento por radiación.
4.	Agua	H ₂ O	0	100	No conduce		Se considera fundamental para la existencia de la vida. No se conoce ninguna forma de vida que tenga lugar en su ausencia completa. Es el único compuesto que puede estar en los tres estados (sólido, líquido y gaseoso) a las temperaturas que se dan en la Tierra. Es vital para la mayoría de los seres vivos.
5.	Cloruro de potasio	KCl	790	1500	Conduce en disolución acuosa	Soluble	Es utilizado en medicina, aplicaciones científicas, procesamiento de alimentos y en ejecución legal por medio de inyección letal. Se presenta naturalmente como el mineral silvita y en combinación con cloruro de sodio como silvinita.

6.	Benceno	C_6H_6	5,5	80,1	No conduce	No es soluble	Materia prima para manufacturar productos químicos usados en la fabricación de plásticos, resinas, nylon y fibras sintéticas. También se usa para hacer ciertos tipos de gomas, lubricantes, tinturas, detergentes, medicamentos y pesticidas. Los volcanes e incendios forestales constituyen fuentes naturales de benceno. Es también un componente natural del petróleo crudo.
7.	Metano	CH_4	-183	-164,4	No conduce	No es soluble	Es más ligero que el aire, incoloro, inodoro e inflamable. Se encuentra en el gas natural, como en el gas grisú de las minas de carbón, en los procesos de las refinerías de petróleo, y como producto de la descomposición de la materia en los pantanos.
8.	Cobre	Cu	1083	2300	Alta	No es soluble	Se ha convertido en el material más utilizado para fabricar cables eléctricos y otros componentes eléctricos y electrónicos. Forma parte de algunas aleaciones, como el bronce y el latón. Es el tercer metal más utilizado en el mundo, por detrás del acero y el aluminio.
9.	Hierro	Fe	1535	2750	Alta	No es soluble	Se utiliza en formas sometidas a un tratamiento especial, como el hierro forjado, el hierro colado y el acero. Comercialmente, puro se utiliza para obtener láminas metálicas galvanizadas y electroimanes. Sus compuestos se usan en medicina para el tratamiento de la anemia, cuando desciende la cantidad de hemoglobina o el número de glóbulos rojos en la sangre.
10.	Fluoruro de litio	LiF	870	1670	Conduce en disolución acuosa	Soluble	Es una sustancia tóxica por ingestión y es irritante para ojos, piel y vías respiratorias. Es la sustancia utilizada en los dosímetros termoluminiscentes para la medida de radiaciones ionizantes.
11.	Cloruro férrico	$FeCl_3$	260	315	Conduce en disolución acuosa	Soluble	Se utiliza para depurar las aguas residuales y para <u>tratamiento de agua</u> de consumo.
12.	Dióxido de carbono	CO_2	-78	-57	No conduce	Muy poco soluble	Se produce por la combustión del carbón o los hidrocarburos, la fermentación de los líquidos y la respiración de los humanos y de los animales. Responsable del efecto invernadero

6.7 Consideraciones finales

A nivel microscópico, entender cómo se unen los átomos constituye un tema central en el conocimiento de la química. Resulta difícil para un estudiante poder entender y explicar el comportamiento de las sustancias sin saber cómo interaccionan los átomos que forman parte de ella, y que esta interacción determina sus propiedades físicas y químicas. En la enseñanza media esto se materializa en la introducción de conceptos como átomo, molécula y enlace químico, los cuales permiten interpretar las propiedades y los cambios que sufre la materia. Sin embargo, la química en este nivel presenta un gran grado de abstracción, lo que genera que el aprendizaje se logre con muchas dificultades o bastante menos de lo que se espera que aprendan. A través del trabajo realizado por los estudiantes durante el desarrollo de esta unidad didáctica, podrán aproximarse al concepto de enlace químico, que tradicionalmente se ha abordado desde un nivel simbólico y microscópico, desde fenómenos macroscópicos y conocidos para ellos, lo que podría favorecer la comprensión del mismo, desde la descripción hasta la argumentación de los fenómenos estudiados.

Referencias bibliográficas

- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M.** (2009b). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4, número especial 1, 40-49.
- Camacho, J. & Quintanilla, M.** (2008). Resolución de problemas científicos desde la historia de la ciencia. Retos y desafíos para promover competencias cognitivo lingüísticas en la química escolar. *Ciência & Educação*, v 14, n.2, 197-212.
- De Posada, J.** (1999). *Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico antes, durante y después de la enseñanza formal. Problemas de aprendizaje.* Enseñanza de las Ciencias. Número 17 Vol. 2. Pp. 227-245.
- Enciso, S., García, A.** (2006). El diseño de unidades didácticas transversales como estrategia para el cambio didáctico y el aprendizaje significativo de las ciencias experimentales. *IIEC*, Vol. 1, Nº1, pp. 44-50.
- Gagliardi, P.J. y Giordan, A.** (1986). La historia de las Ciencias: una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(3), pp. 253-258.
- Izquierdo, M.** (2005). Estructuras retóricas en los libros de ciencias. En *Tarbiya: Revista de Investigación e Innovación Educativa*, 36, 11-34.
- Jorba, J. y Sanmartí, N.** (1996). Enseñar, aprender y evaluar: Un proceso de evaluación continua. Propuestas didácticas para las áreas de las ciencias de la naturaleza y matemáticas. Madrid: MEC. *Learning*, 7, pp 75-83.
- Jorba, J., Gómez, I., y Prat, A.** (2000). Hablar y escribir para aprender. Uso de la lengua en situación de enseñanza – aprendizaje desde las áreas curriculares. UAB. Editorial Síntesis.
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A.** (1998). Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico. Madrid: Morata.

Riboldi, L. Pliego, O., y Odetti, H. (2004). *El enlace químico: Una conceptualización poco comprendida*. Enseñanza de las Ciencias. Vol. 22. Nº 2. pp. 195-212.

Valcárcel, M., Sanchez, G., y Zamora, A. (2005) *Conocimiento de los alumnos de ESO y bachillerato (14-18) sobre el modelo iónico del enlace químico*. Enseñanza de las Ciencias. Número Extra. Congreso VII. Pp. 1-5.

Capítulo 7

La Historia de la Ciencia como fundamento metateórico de una nueva práctica profesional docente Análisis e intervención en distintos factores vinculados al aula

Luigi Cuéllar, Mario Quintanilla

Contenido

- Resumen
- *La importancia de la Historia de la Ciencia y su inclusión en el aula*
 - *Una aproximación inicial entorno a la Historia de la ciencia*
- *¿Qué historia de la química han de conocer y enseñar los docentes?*
 - *La Historia de la Ciencia en los libros de texto*
 - *La Historia de la Ciencia en la enseñanza:
una mirada desde el punto de vista de profesores en formación*
 - *La Historia de la Ciencia como recurso para la enseñanza:
El pensamiento de los profesores de química en ejercicio*
 - *Síntesis de los principales aportes vinculados
al diseño metodológico de la propuesta*
 - *Síntesis de los principales aportes de la fase descriptiva
y analítica de la propuesta de investigación desarrollada*
 - *Algunas ideas para continuar el debate en torno
a la importancia de la Historia de la Ciencia
en el mejoramiento de la calidad de la educación*
 - Anexo
- *Referencias bibliográficas*

Resumen

En el ámbito de la reflexión teórica y metodológica de la Didáctica de las Ciencias experimentales, y en particular en la línea de investigación sobre Historia de la Ciencia, Epistemología y formación docente inicial y continua, se ha venido identificando la necesidad de dar un nuevo sentido a la *ciencia escolar*, que favorezca la participación del estudiantado en la construcción del conocimiento científico. Se requiere entonces de un aula como un espacio de discusión argumentativa sobre el conocimiento disciplinar, que trascienda la normatividad y el dogmatismo de los contenidos, característica del discurso tradicional del profesor de ciencias y la visión estática, aproblemática, desnaturalizada y triunfalista de dicho contenido científico, propio de los libros de texto utilizados como sus habituales referentes de clase.

En el presente documento se abordan una serie de planteamientos –teóricos y empíricos– relacionados con los anteriores ámbitos, frente a los cuales la Historia de la Ciencia se ha convertido en un referente metateórico que promueve el diseño e implementación de nuevas propuestas de enseñanza de la química, que a su vez contribuyen al mejoramiento del discurso, la comunicación científica escolar, los procesos formadores de los profesores y el aprendizaje de la química escolar en el estudiantado.

Se espera entonces que estos planteamientos continúen en la línea de los aportes empíricos, respecto de las relaciones entre la Historia y la Didáctica de la Ciencia y los procesos de formación de Profesores –inicial y continua–, como también el análisis de los libros de texto, frente a lo cual los estudios teóricos proponen ya algunas directrices. De manera particular, se pretende consolidar el planteamiento de que a través de la caracterización de los Perfiles Temáticos de Reflexión –PTR– de los profesores de ciencias se puede comprender, de manera diferenciada y en profundidad, la paulatina y progresiva consolidación de una nueva forma de comprender y divulgar la química escolar, a partir de a) nuevas conceptualizaciones sobre la relación entre la Historia y la Naturaleza de la ciencia, b) nuevas propuestas de actividades de enseñanza de la química desde la inclusión de la Historia de la Ciencia en el aula, c) diversas posibilidades de inclusión de la Historia de la Ciencia como dispositivo orientador de su discurso profesional, y d) cuestionamiento y resignificación de la dimensión epistemológica de dicho discurso en las representaciones teóricas de los docentes.

7.1 La importancia de la Historia de la Ciencia y su inclusión en el aula

Como se ha venido estableciendo en la línea de investigación en Didáctica de las Ciencias, referida a la importancia de la Historia y la Epistemología de la Ciencia en la formación del profesorado y su inclusión en el aula de clase (Adúriz, 2008; Izquierdo, 2006; Quintanilla, 2006; Cuéllar, Gallego y Pérez, 2008), se hace necesario que la práctica profesional docente posibilite al estudiantado comprender el indudable carácter *histórico* de la química, es decir, la idea de que el conocimiento científico 'está vivo' aunque esté escrito en los libros, que la química como ciencia es dinámica y progresivamente mutable, que los conceptos, modelos y teorías científicas que constituyen el entramado de la química terminan siendo sustituidos por otros, y que los marcos ideológicos que fundamentan el conocimiento en cada época sufren igualmente un proceso de cambio conceptual o paradigmático natural, sistemático, continuo e irreversible, que puede ser comprendido a la luz de ciertos principios teóricos y caracterizado con criterios metodológicos específicos (Camacho y Cuéllar, 2007; Toulmin, 1977).

Sin embargo, en múltiples ocasiones se soslaya que para lo planteado anteriormente es necesaria una profunda reflexión teórica y metodológica acerca del discurso químico, ya que el modelo de ciencia, *tácito o explícito*, que sustenta dicho discurso define qué contenidos se enseñan y bajo qué enfoque didáctico son trabajados en el aula (Izquierdo y Aliberas, 2005). En este sentido, se considera que la formación, y progresiva consolidación, de dicho discurso químico se relaciona con los aspectos epistemológicos, didácticos y pedagógicos —el *esquema conceptual del profesor*—, que hacen parte de los diversos modelos de formación de los profesores que divulgan el conocimiento químico en la sala de clase.

Al respecto, y para promover una reflexión en este sentido, hemos considerado que el componente histórico en la formación de los profesores de ciencias posibilita algunos objetivos relacionados con una mayor comprensión de la actividad científica, y así el fortalecimiento de su *discurso químico*: comprensión profunda de los significados de los modelos teóricos y sus conceptos asociados; posibilidad de establecer relaciones metateóricas con la filosofía y la sociología de la ciencia; vincular las disciplinas científicas y las humanidades; y valorar los modelos científicos vigentes en tanto construcciones teóricas sistemáticamente progresivas, desde una perspectiva naturalizada. De esta forma, como es planteado por Kragh (1990) no cabe duda del papel fundamental de la Historia de la ciencia en su enseñanza, que: "*puede contribuir a una comprensión menos dogmática de la ciencia y de los métodos científicos, pudiendo actuar como antídoto contra la ortodoxia y el entusiasmo acrítico por la ciencia*".

7.2 Una aproximación inicial entorno a la Historia de la Ciencia

No obstante lo anterior, es imposible pensar en una simplicidad ingenua al hablar de "la Historia de la ciencia", pues como se presenta brevemente a continuación, existen diversas posibilidades para interpretarla. Al respecto Kragh (1990) presenta un análisis interesante que permite identificar las diferentes valoraciones e interpretaciones que pueden atribuirse a la Historia de la ciencia, según la época y el "lente" desde la cual ésta sea concebida.

En principio, se resalta que en el desarrollo de la ciencia, las descripciones y los análisis históricos han ido siempre a la saga del desarrollo de la ciencia y no obstante esto, su reconocimiento como *disciplina de estudio* no emerge hasta el siglo XX. Así, hasta la Edad Media, la forma habitual del desarrollo científico implicaba la referencia de la antigüedad clásica, lo cual significaba cierto *status*. Durante el siglo XVI y principios del siglo XVII, la Historia, y sobre todo la Historia de la Antigüedad, eran consideradas por los pioneros, desde Copérnico a Harvey, como algo definitivamente presente en el progreso de la ciencia. Durante la revolución científica la Historia como apoyo en las discusiones ideológicas sería la legitimación de la ciencia. Sin embargo, durante el siglo XVII se presenta un cambio de actitud frente a estas autoridades clásicas, debido a la influencia del Protestantismo y la crítica a los eruditos de la antigua Grecia por ser considerados paganos. De esta forma, emerge una relación de la ciencia con los conocimientos bíblicos, que databan de una época anterior a los griegos. Durante esta época cada ciencia fue adquiriendo valor y autoridad por sí misma, se hizo menos necesario recurrir a la antigüedad como medio de validación.

En el siglo XVIII, para Priestley y sus contemporáneos la Historia de la ciencia era primordialmente un instrumento cuyo valor se hallaba ligado al progreso de las investigaciones que se llevan a cabo en la época. Se señala que a partir de la actitud de conocer lo relativo a los descubrimientos y avances científicos, la Historia de la ciencia tomó los rasgos de la Historia del progreso, de lo cual puede derivar una perspectiva ligada a *la Historia triunfalista*, que no tiene en cuenta las aportaciones que han sido superadas.

Durante los siglos XVII y XVIII la palabra «histórico» no significaba lo que es hoy en día. Un fenómeno «histórico» significaba frecuentemente un fenómeno concreto, objetivo, e «Historia» significaba simplemente una relación de las condiciones objetivas, sin que fuera necesario que pertenecieran al pasado. El siglo XVIII, por su parte, se caracterizó por una tendencia «antihistórica». La Ilustración veía la Historia como un instrumento del progreso en su lucha contra el orden feudal; desde una perspectiva *presentista*, sólo los desarrollos recientes merecían interés, mientras que el pasado se consideraba, por lo general, irracional e inferior. Este periodo se caracterizó por una falta de conciencia histórica, consecuencia de las

ideas dominantes en torno al conocimiento, en particular a las ideas racionalistas de Descartes, para quien el conocimiento era puramente reflexivo y racional, una abstracción universal y ahistórica.

A finales del siglo XVIII, la corriente Romántica otorgaba un sentido más profundo a la Historia basada en la idea de que al pasado se le debía juzgar según sus propias premisas y no bajo el pensamiento contemporáneo como habían hecho los ilustrados. Así se da un reconocimiento a lo que actualmente podemos considerar como *historiografía diacrónica*.

No obstante, durante el siglo XIX, en periodos de progreso, consolidación y organización de la vida científica, se presentó un distanciamiento entre las ciencias naturales y las humanidades. El auge positivista de la ciencia del siglo XIX, sus seguidores, los métodos y las posibilidades hicieron ahistórica a la Historia de la ciencia, considerando inequívocos y universales sus métodos. La perspectiva histórica se rechazó y el interés se centró entonces en la ciencia contemporánea y sus inmediatos predecesores, resaltando que la Historia era una disciplina humanística, cuyos métodos y objetivos eran incompatibles con los de las ciencias naturales. Esta distinción hizo que se ignorara la Historia de la ciencia, relegándola a los científicos y a los historiadores aficionados.

Para el análisis que nos interesa, cabe resaltar que en esta época se escribió la Historia de la Ciencia bajo intereses patrióticos, para resaltar la ciencia de las naciones. Estas obras, en principio diseminadas, comenzaron a organizarse a principios del nuevo siglo (XX) y fue así como la Historia de la Ciencia empezó a asentarse como una disciplina independiente, caracterizada por congresos y conferencias internacionales y por el establecimiento de sociedades nacionales para su estudio.

Finalmente a lo largo del siglo XX la Historia de la Ciencia se ha convertido en objeto de creciente interés debido a su contribución a la Historia y a su valor educativo, y en las últimas décadas ha despertado interés creciente en la comunidad científica de historiadores, sociólogos y científicos, y particularmente en los didactólogos de la ciencia.

7.3 ¿Qué historia de la química han de conocer y enseñar los docentes?

En relación a lo anterior, y específicamente en el campo de la investigación en didáctica de las ciencias experimentales, algunos autores (Izquierdo, 2000; Álvarez, 2007; García, 2009) consideran que una de las principales dificultades que se presentan en la enseñanza de la química, y que pueden llegar a tener directa relación con los bajos resultados académicos de los estudiantes en esta área, es el carácter tradicionalmente transmisionista, algorítmico y absolutista, con el cual

el profesor hace de esta disciplina el objeto de estudio en el aula. Por esta razón, se considera que la enseñanza de la química basada en una perspectiva histórica, en la que adquiere importancia el diseño de unidades didácticas que incorporen los aspectos involucrados en la génesis y evolución de los conceptos científicos, permitirá dimensionar el carácter problematizador de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en busca del cambio en la imagen de ciencia que generalmente se socializa en el aula y no contempla el propio proceso histórico del sujeto que aprende ciencias (Labarrere y Quintanilla, 2002).

Hay ya suficiente evidencia en la investigación en didáctica de las ciencias experimentales, de que la química es un proceso de constitución del saber erudito con dimensiones sociales, valóricas, políticas y culturales. Esta idea de formación y enseñanza de las ciencias naturales desde una orientación de ciudadanía y valores, permite *releer* y comprender permanentemente marcos teóricos diversos para interpretar fenómenos científicos que *hoy comprendemos bien* y que se explican mediante teorías vigentes, las cuales continúan evolucionando vertiginosamente. Esta perspectiva nos permite además conocer la relación entre la ciencia y la cultura de una época específica, analizando de esta forma la influencia de éstas en el desarrollo y consolidación de una sociedad determinada que comparte unos valores que se resignifican sistemáticamente (Barona, 1994; Quintanilla, 2007; Solsona, 1997). Para dar una respuesta racional, razonable y coherente en este sentido, la hipótesis que sustentamos, es que se plantee el origen histórico, controversial y polémico de las principales teorías de la química, se muestre el proceso de creación y desarrollo de los principales conceptos y metodologías científicas como fruto de un trabajo colectivo y de una construcción humana, en la que hay intrigas, tensiones y distensiones, y se analice así la complejidad de las relaciones ciencia – tecnología – sociedad - comunicación (CTSC) a lo largo de la Historia, con las implicaciones de transformación de los procesos sociales y de convivencia que ello ha generado para la comunidad científica en general y para la comunidad de los químicos en particular (Izquierdo *et al.*, 2006).

Así pues es fundamental reconocer el papel del profesor como mediador entre la evolución histórica 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 formular nuevas propuestas, como la inclusión de la Historia de la Ciencia en la formación del profesorado, tendientes a posibilitar una mayor participación del docente de química en la construcción de su propio conocimiento profesional y científico.

Como se ha podido establecer de forma introductoria, existen múltiples formas de entender la Historia de las Ciencias (HC), motivo por el cual se hace también

necesario que el docente identifique las posibles formas de comprenderla, no de manera “genérica”, lo cual implica que cada una de estas formas de HC le hace situarse de forma específica y plantear actividades intencionadas, que incluso pueden perseguir objetivos diferentes en el interior del aula.

Como plantean Izquierdo *et al.* (2006) es entonces fundamental considerar el concepto *Historia de la Ciencia* para comprender la imposibilidad de presentar una Historia “totalmente objetiva”, ante lo cual se hace necesario que, a partir de las diversas fuentes existentes se elaboren posibles combinaciones y sus respectivas interpretaciones. De lo anterior se pueden originar diversas perspectivas sobre la Historia de la Ciencia: *vertical, horizontal, interna, externa, diacrónica, sincrónica, recurrente, biográfica*, entre otras, de manera intencionada según la finalidad de la secuencia didáctica. Así, el profesor de ciencias puede orientar su enseñanza y abordar con sus estudiantes cada una de las teorías o modelos científicos.

Con base en este último planteamiento, se reconoce que el campo de investigación sobre los aportes de la Historia de la Ciencia en la enseñanza es bastante amplio. Sin embargo, y de manera particular, se pretende a continuación abordar algunos factores vinculantes en la construcción del *escenario* de la enseñanza de las ciencias como son los *libros de texto*, el *pensamiento del profesorado en formación* y las reflexiones *del profesorado en ejercicio* en torno a la Historia de la Ciencia y su aporte al aprendizaje de la química.

7.4 La Historia de la Ciencia en los libros de texto

Desde hace ya varios años el estudio sobre los libros de texto ha incorporado análisis didácticos e histórico-epistemológicos, y a partir de ello se han venido reportando importantes hallazgos relacionados con las teorías o modelos científicos que son socializados en el aula, por parte de profesores y estudiantes, y de las distintas perspectivas desde las cuales son interpretados.

De manera particular, en el campo de la química, en una investigación relacionada con la identificación de la versión histórico-epistemológica de la propuesta de Ernest Rutherford sobre el átomo, presente en los libros de texto más utilizados por profesores de educación media y universitaria (Cuéllar, Gallego y Pérez, 2008), se encontró que en la mayoría de ellos no se reconocen los antecedentes histórico-epistemológicos que dieron origen a la propuesta de Rutherford, sobre el modelo atómico vigente en su momento, presentando además dichos libros una visión descriptiva, en la que también aparece ausente la comunidad científica como gestora del progreso de la ciencia.

De manera análoga, Farías (2012) ha establecido que los libros de texto de química presentan una imagen de la ciencia desconectada de otros contextos, incluido

el científico, lo mismo que una imagen de la actividad científica caracterizada por descubrimientos aislados producto del trabajo individual, a partir de lo cual se ofrece una representación de la ciencia no revela lo que conlleva el trabajo científico.

Lo anterior, y como ha sido ya establecido por Quintanilla *et al.* (2006), a partir de estudios similares en torno a la importancia de la Historia y la epistemología en la enseñanza, enfatiza la necesidad de que el profesorado de ciencias disponga de nuevos elementos teóricos y metodológicos para fundamentar una posición epistemológica frente a filogénesis y ontogénesis del conocimiento científico, que habitualmente se *transmite* en el aula y que es presentado de manera dogmática en los libros de texto de ciencias.

Además de lo señalado anteriormente, se han llevado a cabo investigaciones recientes (Fariás, 2012) que han dado cuenta de la importancia del componente sociológico de la ciencia, además de los aspectos históricos y epistemológicos. Es así como se ha identificado cierta heterogeneidad que va desde la deshumanización del científico hasta la presencia de múltiples relaciones propias del contexto del desarrollo de la ciencia, en la que los experimentos y el uso de las biografías científicas pueden ser un potencial en los libros de texto, ya que a partir de su implementación se puede comunicar una imagen de la ciencia más cercana a las finalidades de la enseñanza de la ciencia.

En relación a esto último, y como se desarrollará más adelante, hay ya investigaciones que establecen que las biografías científicas tienen sentido en la medida en que se alejen de la tradicional visión cronológica de ciertos *hitos* y *personajes* de la ciencia, hacia la implementación de *biografías científicas* centradas en el seguimiento de diversas nociones científicas, propuestas por diversos investigadores, a partir de lo cual se posibilita la reflexión sobre la *historia Interna* de dichas nociones científicas. En este caso particular, las *biografías científicas* tienen sentido didáctico en la medida en que se vinculan al desarrollo del concepto científico, más que en torno a personajes científicos de forma aislada (Cuéllar, 2010).

7.5 La Historia de la Ciencia en la enseñanza: una mirada desde el punto de vista de profesores en formación

Como se señaló anteriormente, además del *saber* presentado en los libros de texto de ciencias, es fundamental el discurso del profesor de ciencias que comunica dicho saber, tendiente a unas nuevas finalidades educativas. Al respecto, está bien fundamentada teóricamente la importancia de la Historia de la Ciencia, como disciplina metateórica, en la formación de profesores (Quintanilla, Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2005; Matthews, 1994) y su importancia como una estrategia de

reflexión, análisis e interpretación de sucesos que los estudiantes pueden aprender a modelizar, partiendo de la base de que el profesorado consolide una nueva imagen, *racionalista moderada*, de la química escolar.

Desde esta perspectiva, se puede interpretar que el conocimiento científico se ha ido construyendo a través de los siglos y las culturas, sobre cimientos que han estado determinados por creencias, prejuicios, conflictos de poder, mitos, influencias religiosas, crisis políticas, e incluso por el propio azar que configuró las vías de sistematización, divulgación y reelaboración del conocimiento científico (Quintanilla *et al.*, 2005).

Se requiere entonces, la orientación del profesorado en formación hacia la reflexión teórica sistemática en torno al desarrollo del conocimiento científico, frente a lo cual la historia de la ciencia ha resultado ser un aporte fundamental, en la medida en que promueve una mejor comprensión de las nociones científicas y permite identificarlas en el contexto *humano* de ese saber erudito de la ciencia, que las hace más cercana a los estudiantes.

En este marco de renovación, se considera que en la enseñanza de las ciencias es pertinente el abordaje del conocimiento científico desde dicha perspectiva naturalizada (Giere, 1992; Quintanilla, 2006) en la que resulta fundamental la adquisición del lenguaje propio de la actividad científica, que promueva actitudes científicas en los estudiantes, lo cual puede lograrse desde la enseñanza de la química a partir de su perspectiva histórica, en la que se aborde la ontogénesis y filogénesis de cada uno de los cuerpos conceptuales de esta ciencia.

En este campo particular de la formación del profesorado de ciencias y la importancia otorgada a la inclusión de la Historia de la Ciencia en la enseñanza, se ha propuesto un enfoque metodológico vinculante y progresivo que considere: *a)* la caracterización de las concepciones sobre la Historia y la Naturaleza de la Ciencia, *b)* la identificación y análisis de orientaciones de divulgación del contenido científico, *c)* la elaboración de material inédito, *d)* el análisis y determinación de la coherencia de las fases anteriores y, finalmente *e)* el pensamiento del profesorado en formación.

Como aspectos a destacar, a manera de resultados derivados de una investigación precedente (Cuéllar, Quintanilla y Marzábal, 2010), en cada uno de las fases mencionadas anteriormente, se señala que coexiste en el profesorado de ciencias en formación ideas en torno a la naturaleza de la ciencia relacionadas con tres modelos de ciencia: un modelo tradicional, uno de ciencia como construcción social y uno híbrido –de transición– entre los dos (tabla 1).

Lo anterior se establece a partir de la manifestación explícita que denota una coexistencia de diversas formas de concebir la naturaleza de la actividad científica, en relación a que un gran número de profesores en formación siguen teniendo una visión tradicional de la ciencia, aunque también aparece una evolución hacia una visión más social que todavía no está consolidada.

Tabla 1
CATEGORIZACIÓN DE LAS RESPUESTAS DE LOS PARTICIPANTES
EN TORNO A LA DIMENSIÓN NATURALEZA DE LA CIENCIA

Modelo de ciencia	Caracterización
TRADICIONAL	Se concibe la actividad científica ligada a un método científico, como una estructura cerrada que no permite usar la creatividad, al servicio de una ciencia objetiva y estática.
CONSTRUCCIÓN SOCIAL	Se concibe la ciencia como una actividad que recurre a una metodología de investigación, que permite usar la creatividad, con alto grado de subjetividad. Se considera que el profesor debe adoptar un modelo de ciencia y de enseñanza fundamentados teóricamente.
HÍBRIDO O DE TRANSICIÓN	Parece claro que se alejan de la visión tradicional de la ciencia, pero tienen muchas incoherencias en sus planteamientos, o bien preguntas sin responder, lo que se podría interpretar como una falta de reflexión al respecto.

En lo referido a la dimensión *Historia de la ciencia*, se observa una mayor homogeneidad en cuanto a la opinión de los participantes del estudio, ya que para una amplia mayoría la Historia de las ciencias en la enseñanza puede tener múltiples utilidades y ventajas. Parece que en cierto modo la Historia de la ciencia puede mejorar la comprensión de los alumnos, hacer que el aprendizaje sea más significativo y que se tenga una visión más humana de la ciencia y de su avance. No obstante lo anterior, hay dos aspectos que llaman la atención:

- Se percibe una gran contradicción con respecto al modelo de ciencia –predominante– que hemos hallado en el apartado anterior, donde la ciencia era considerada mayoritariamente como una disciplina muy estática,
- No se incide en la cuestión fundamental que representa el cómo incorporar la Historia de la ciencia en la sala de clase.

En cuanto al análisis y determinación de la coherencia y las relaciones encontradas entre la identificación de las orientaciones del profesorado sobre cómo se debiera divulgar el conocimiento científico en el aula (desde perspectivas teóricas

o desde perspectivas históricas) y la elaboración del propio material de enseñanza de contenidos científicos, se percibe una gran inclinación hacia la producción de material desde una perspectiva centrada en la presentación de la ciencia a partir de definiciones normativas, ligadas a una perspectiva tradicional dogmática; no obstante, el reconocimiento previo de las ventajas de la perspectiva histórica, en la comprensión del conocimiento científico vinculado a sus contextos de generación (Figuras 1 y 2).



Figura 1: Comparación entre lo declarado en la Fase II y la producción de material en la Fase III – grupo 1



Figura 2: Comparación entre lo declarado en la Fase II y la producción de material en la Fase III – grupo 2.

Por último, en la Fase V, en la que se adelantaron las entrevistas para recabar información en torno a las discrepancias y coherencias obtenidas durante la investigación, se encontró que los profesores en formación, justificaron su desempeño en relación a los siguientes aspectos:

- Se considera la ciencia como una actividad humana, que conlleva altos niveles de subjetividad de los científicos, que está inmersa en contextos sociales, políticos y culturales, y que intenta dar respuesta a problemáticas específicas derivadas de su entorno. Sin embargo, las producciones propias privilegian la transmisión de contenidos científicos de forma teórica, centrada en definiciones y que se apoyan en la realización de actividades de 'refuerzo' de lo presentado como contenido temático.
- No se reconocen las diversas posibilidades que tendría el profesor, a propósito de la utilización de la Historia de la ciencia, en particular a las diversas perspectivas que de ella se han podido caracterizar.

- Se pudo establecer una vez más la importancia que se asigna a los libros de química como referentes del saber a enseñar en la sala de clase. Así, se determinó que la fuente de información a la que se acudió para la elaboración del propio material presentaba un carácter notoriamente conceptual que soslaya la Historia de la ciencia, lo cual fue considerado como una causa de la perspectiva teórica/conceptual (PT) de sus propias producciones.

A manera de implicaciones didácticas relacionadas con los hallazgos comentados, se puede plantear que, en teoría, para los profesores en formación la Historia de las ciencias aplicada en su enseñanza y posterior ejercicio profesional docente puede tener múltiples ventajas y utilidades, relacionadas con un aumento en la calidad de los aprendizajes. Parece que en cierto modo la Historia de la ciencia puede mejorar la comprensión de los alumnos, hacer que el aprendizaje sea más significativo, que se tenga una visión más humana de la ciencia y de su progreso.

Al tener como referente ciertas concepciones iniciales sobre la Naturaleza y la Historia de la ciencia; diversas tendencias declaradas en torno a la pertinencia de una u otra perspectiva en los materiales propuestos; y la producción de unidades didácticas a implementar, se hace evidente la disminución progresiva de la presencia de la historia de la ciencia, esto es, el alejamiento progresivo de un modelo de ciencia problemático y dinámico hacia un modelo cada vez más próximo al modelo tradicional de ciencia dogmático.

Las causas de las incoherencias encontradas pueden deberse, según argumentan los propios profesores en formación en las entrevistas realizadas, a los modelos bajo los cuales han sido formados. Parece claro que hay poca reflexión en torno al modelo de ciencia que tienen los estudiantes, y así las cosas, se aduce que por ello se tiende a reproducir lo que les han enseñado y a utilizar como referente teórico predominante los libros de texto que ellos han trabajado en los cursos precedentes. Derivado de lo anterior, puede entenderse que estudiantes y profesores tengan una visión deformada de la naturaleza de la ciencia, su objeto y método de estudio, así como de las repercusiones sociales de la ciencia, lo que puede llegar a producir una actitud de rechazo en la escuela, frente al estudio de las diferentes disciplinas científicas en niveles de formación superior.

A pesar del alto reconocimiento de la riqueza didáctica de la historia de la ciencia, los profesores en formación tienen pocos recursos para generar nuevas propuestas, ya sea por deficiencias en su formación o por la escasez de materiales y fuentes de referencia de corte no tradicional. La limitada presencia del uso de la historia en los materiales propuestos impide incidir en una cuestión fundamental que es *¿cómo incorporar la Historia de la ciencia en el aula?*, en relación a las múltiples formas de concebirla y de los múltiples objetivos que pueden ser abordados desde cada una de ellas. No se llega a la reflexión de que, tal como señala

Kragh (1990), debido a las múltiples perspectivas de la Historia de la ciencia en la actualidad, seguro que ninguno de los objetivos abarque la disciplina en su totalidad y podrá darse también que desde una sola perspectiva histórica no pudieran lograrse todos ellos. En las producciones de los profesores en formación, a las que se hace mención como Perspectiva Histórica (PH), aparece de forma recurrente la inclusión de las biografías de los científicos, con el riesgo de convertirla en la llamada *hagiografía*, una Historia acrítica en blanco y negro donde se convierten algunos científicos en héroes de la ciencia. Como se estableció en el marco teórico existen diferentes aproximaciones a la historia de la ciencia, pero su uso en la enseñanza no garantiza que se transmita un modelo de *ciencia naturalizada*, por lo cual el profesor ha de tener una formación teórica y metodológica fundamentadas.

Las dimensiones que configuran el discurso profesional docente, las que han sido consideradas en este enfoque metodológico de trabajo con profesores en formación: *modelos de formación, concepciones metateóricas, disposición a la innovación y fuentes de referencia*, han de estar estrechamente relacionadas de manera simultánea. Parece ser, que ante las dificultades propias de a lo menos una de estas dimensiones aparece reiteradamente la tendencia a replicar el modelo tradicional de ciencia.

Ante este modelo tradicional fuertemente arraigado, que constituye el punto de partida para algunos o el modelo al que recurren otros, a menudo defendido bajo argumentos que van en pro de la “eficiencia” de la enseñanza de las ciencias tomada bajo la luz reduccionista de los resultados ante las pruebas evaluativas de carácter instrumental, podemos establecer que aunque posiblemente la Historia de la ciencia no nos permita resolver problemas científicos de corte tradicional, este no debe ser el único objetivo de la educación científica, sino que además se puede promover que los estudiantes comprendan mejor la ‘ciencia actual’ en su contexto social, político, económico, etc., al tiempo que potenciar cambios significativos en el discurso del profesor.

7.6 La Historia de la Ciencia como recurso para la enseñanza: El pensamiento de los profesores de química en ejercicio

Un último aspecto a abordar en este documento, y complementario a los anteriormente desarrollados sobre La Historia de la Ciencia en los libros de texto y la Historia de la Ciencia desde el punto de vista de los profesores en formación, tiene que ver con la reflexión de los profesores de ciencias en ejercicio, a partir de algunas experiencias de la inclusión de la Historia de la Ciencia en su discurso profesional docente.

Partiendo del referente teórico del *esquema conceptual* del profesor de ciencias (Quintanilla, 2006, Angulo, 2002 y Cuéllar, 2010), en el que se propone que el discurso del profesor en el aula se moviliza en el marco de las relaciones entre los planos *epistemológico, didáctico y pedagógico*, se considera fundamental identificar cuáles son los aportes de la Historia de la Ciencia en el fortalecimiento de dichos planos y sus interrelaciones, tanto en la dimensión teórica (sus concepciones) como en la dimensión práctica (su ejercicio en el aula). En esta línea de investigación, se ha puesto énfasis en la necesidad de replantearse los contenidos científicos escolares y las estrategias de formación del profesorado (Angulo, 2002; Martín del Pozo & Porlán, 2006; Porlán & Rivero, 1998), 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 (Candela, 2006; Lemke, 1997), como tendencia general entre el profesorado de química, física y biología.

Se pretende entonces plantear que la formación continua de profesores de ciencias naturales, concebida como oportunidad de desarrollo profesional docente (Mellado, 2003; García, 2009; Angulo, 2002 y Couso, 2002), requiere de una profunda reflexión que conlleve al cuestionamiento acerca de su discurso profesional habitual, entendido como la interacción entre los saberes propios de su *esquema conceptual*. En este apartado temático y para los fines de este documento, se establece que la incorporación de disciplinas metacientíficas como la Historia y la epistemología de las ciencias, con fines didácticamente fundamentados, podría favorecer dicho cuestionamiento y proponer espacios de formación que permitan consolidar la enseñanza de las ciencias en busca de su mejoramiento.

Con base en las anteriores consideraciones, se presenta una propuesta metodológica, la cual considera el análisis *interpretativo-comprensivo* de las reflexiones profesionales de profesores de química en ejercicio, en el marco de su propio desarrollo profesional, con el objetivo de *identificar y caracterizar en qué medida un proceso reflexivo, intencionado y permanente sobre la química escolar, su enseñanza, evaluación y aprendizaje, sustentado en la Historia de la Química como marco de referencia metateórico y metodológico contribuye al mejoramiento del discurso, la comunicación científica escolar, los procesos formadores de los profesores y el aprendizaje de la química escolar en el estudiantado*.

Esta propuesta, que se caracteriza entonces por un trabajo en el nivel de *formación continua o permanente*, se comparte la idea planteada por Angulo (2002), con base en las investigaciones de Porlán, Rivero, & Martín del Pozo (1997) y Zimmermann (2000), en torno a que las concepciones de los profesores pueden evolucionar en función de la construcción y reestructuración de nuevos significados generados a partir de la interacción y el contraste con otras ideas y experiencias,

lo cual ha generado múltiples estudios, dentro de los cuales estarían aquellos relacionados con la Historia de la Ciencia en la formación docente.

Angulo (2002) señala que en el campo de la formación de profesores de ciencias, han sido múltiples los ámbitos de investigación (Furió, 1994; G; Schön, 1983; Hewson *et al.*, 1999; Mellado, 1996; Porlán *et al.*, 1988; Schulman, 1986; Woolnough, 2000), dentro de los que se destacan, por su interés para esta propuesta, aquellos que consideran el desarrollo profesional docente basado en tres aspectos: *el profesor de ciencias como investigador; constructivismo y práctica reflexiva* y *el profesor de ciencias que se autoevalúa* (Angulo & García, 2008). Se toma entonces como referencia la anterior consideración sobre el desarrollo profesional docente, en tanto que la presente propuesta contempla el desarrollo de varias etapas, fases e instancias en las que dichos aspectos han de estar presentes.

Respecto de esta propuesta de formación profesional docente, García (2009) plantea que más allá de continuar con la idea del *teacher training* que puede llevar a imágenes reduccionistas, de transmisión de información y operatividad de metodologías, se concibe ahora como *desarrollo profesional del profesorado (Teacher Professional Development)*. Frente a lo anterior se afirma que *“Entendemos el desarrollo profesional de los docentes en ejercicio como un proceso de auto-desarrollo (que puede ser iniciado y facilitado desde el exterior pero que es un proceso interno del docente) en el transcurso del cual un docente va adquiriendo y mantiene el nivel de competencia profesional máxima, tanto como profesor en su aula como miembro de una comunidad docente, que puede adquirir en el contexto de su aula, centro, sistema escolar y cultura”* (Couso, 2002:73).

Se considera entonces que todos aquellos ámbitos relacionados con dicho proceso de desarrollo profesional, el cual se propone consolidar progresivamente, desde la inclusión de la Historia de la Ciencia como disciplina metateórica que orienta el discurso profesional, pueden estar vinculados con ciertas áreas, categorías o dimensiones que emergen de la reflexión del profesorado, las cuales pueden ser caracterizadas, con base en los marcos teóricos de referencia y con la evidencia encontrada, y así configurar lo que se propone en este documento, un *Perfil Temático de Reflexión – PTR–* (Cuéllar, 2010), entendido como *la identificación y caracterización de aquellos ámbitos o categorías, relacionados con el esquema conceptual del profesor de ciencias, que de forma recurrente y sistemática emergen en la reflexión teórica sobre su práctica, cuando éste analiza críticamente su discurso profesional docente*. Para desarrollar esta idea de PTR se ha tomado en consideración planteamientos de Mortimer (2005) y de Schön (1983).

Esta propuesta, derivada de una investigación doctoral (Cuéllar, 2010), se enmarca en el campo de la investigación cualitativa desde un enfoque interpretativo, considerando el carácter de estudio de caso de tipo longitudinal, en el que se

sugiere analizar en profundidad *el caso(s)* del (la/los) *protagonista(s)*, durante un periodo de tiempo pertinente para los fines a plantearse (figura 1).



Figura 3: Representación general del proceso de investigación. En esta figura se quiere presentar la idea de la simultaneidad del proceso de formación teórica y de intervención en el aula, por parte de los participantes de la investigación.

De manera particular, y como evidencia del trabajo en el área, la investigación en referencia consideró un diseño metodológico desarrollado en tres fases: a) *Descriptiva*; b) de *intervención*, y c) de *análisis de la intervención*, teniendo en cuenta la participación *del caso* en varias *instancias* de recogida de información sobre la enseñanza de un tópico científico específico²⁰ (Entrevistas; Discurso en el Aula; Reflexión Dialógica; Talleres de Formación Docente), las cuales se asociaron a ciertos *momentos* clave de su intervención en el aula, a partir de lo cual se caracterizó su **PTR**, en tres niveles diferenciados pero progresivamente vinculantes entre ellos (de *Instancia –PTRI–*; de *Momento –PTRM–* y *Docente –PTRD–*). Para ello se utilizó la técnica del análisis del contenido del discurso de la *protagonista*, identificándose quince categorías, de las cuales fueron seleccionadas *cuatro* de ellas (ver Anexo, pág. 196) para la configuración del Perfil Temático de Reflexión **–PTR–** (Figura 4) .

20 Para el desarrollo de los objetivos planteados en la investigación (Cuéllar, 2010) se trabajó la noción científica de Ley Periódica, desde la perspectiva de la Historia de la Ciencia (Los *momentos* desarrollados fueron: Biografías Científicas; Radio atómico, Principios básicos de electroquímica y el Congreso de Karlsruhe).

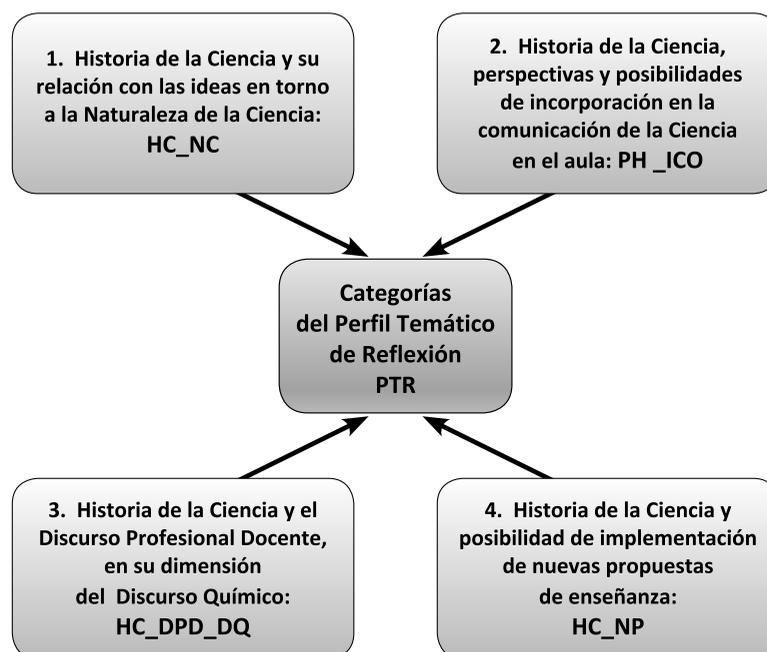


Figura 4: Selección de las categorías constitutivas del Perfil Temático de Reflexión -PTR- de la Profesora Protagonista de la Investigación, en torno su proceso de inclusión de la Historia de la Química en su discurso profesional docente -DPD-.

7.7 Síntesis de los principales aportes vinculados al diseño metodológico de la propuesta

Se considera que el diseño metodológico propuesto, de simultaneidad de dos espacios fundamentales en para la progresiva consolidación del discurso profesional docente: la *formación teórica* y la *intervención en aula*, complementado por un diagnóstico de la práctica habitual y por un momento de análisis de todo el proceso desarrollado en el año de duración de la *Fase de intervención*, permitió recoger una gran cantidad de información, de diferentes tipos, a partir de la cual se propuso la comprensión de la vinculación de la Historia de la Ciencia en el discurso profesional que orienta la química escolar.

La especificidad del tipo de información recopilada, a partir de los diversos *instrumentos* -entrevistas, observación participante, cuestionarios, videograbaciones y notas de campo-, y especialmente las diversas *instancias* de recogida de información –Entrevista Inicial (EI); Reflexión Individual (PRI); Reflexión dialógica (RD); Talleres de formación Docente (TFD); Entrevista Final (EF)– y su vinculación a los diversos *momentos* –divulgación del contenido científico en el aula–, desde las clases tradicionales hasta la inclusión de la perspectiva histórica de la ciencia, han

resultado pertinentes para los objetivos de la propuesta, y se constituyen en un aporte, debido a la solidez con la cual se permite articular la evidencia, la configuración del **PTR** y la comprensión de las relaciones entre la Historia de la Ciencia y el Discurso Profesional Docente, en torno a cada uno de los cuatro *momentos* analizados.

En relación al análisis del contenido del discurso, como técnica de análisis de los datos obtenidos, se manifiesta que facilita pertinentemente la identificación de las diversas *categorías de reflexión*, a partir de la categorización de cada una de las *unidades discursivas* que conforman las reflexiones de la *protagonista*. Dichas categorías se identifican de manera empírica, a partir de los mismos datos, y se caracterizan con base en los marcos teóricos de referencia de la propuesta de investigación, y son sometidas a discusión mediante un proceso de evaluación de pares.

Se considera que la configuración del Perfil Temático de Reflexión Docente –**PTRD**– a partir de los **PTRM** y los **PTRI**, resulta uno de los aportes más valiosos de este tipo de propuesta de investigación, ya que de este modo se logra dar sentido global y unificador a cada una de las *unidades de análisis* identificadas en el discurso de la *protagonista*. Es en este punto en el que adquiere un alto valor la aparición del contenido disciplinar, *la Ley Periódica* (en este caso), desde una orientación basada en la Historia de la Ciencia, para que en torno a éste se vincule toda la información recolectada.

Aún en este análisis del diseño metodológico de la propuesta, se destaca la importancia del análisis progresivo y selectivo de todas aquellas *unidades discursivas* que se configuran como evidencia desde el discurso de la protagonista, y que para la interpretación, comprensión y análisis de éstas, ha sido de gran utilidad la presentación de los llamados Gráficos de Categorías de Reflexión –**GRC**– (Cuéllar, 2010) los cuales se basan en la propuesta de los *Gráficos de Encadenamiento Temático* –**GETs**–, (Angulo, 2002; Couso, 2002), no obstante su limitación, solo en el plano descriptivo, de cómo se moviliza el discurso de la protagonista.

7.8 Síntesis de los principales aportes de la fase descriptiva y analítica de la propuesta de investigación desarrollada

Por último, en esta intención de socializar los aportes del diseño metodológico vinculados a una investigación del tipo referido en este último apartado, se aborda el proceso descriptivo y analítico de las categorías identificadas y seleccionadas, y en referencia a las diversas *instancias* en que estas emergen.

Se destaca la pertinencia de identificar aquellas *categorías* de la reflexión docente que permiten establecer la forma en que adquiere sentido la vinculación de la His-

toria de la Química en el discurso profesional docente. En este tipo de procesos, se logran identificar rigurosamente cuáles de estas categorías están presentes en cada una de las diversas *instancias* de recogida de información. Vale la pena insistir en que en este caso particular se seleccionaron *cuatro* categorías (de quince²¹) a partir de las cuales se configura el **Perfil Temático de Reflexión –PTR–**. Dicho número ha de variar en función de los objetivos propuestos por el investigador.

En relación a una de las *instancias* desarrolladas en la investigación de referencia, denominada **Discurso en el aula –PRI–**, en la cual se analizaron diecinueve (19) sesiones de clase vinculadas con cuatro *momentos*, se destaca la posibilidad de registrar ‘de primera fuente’ el desempeño profesional docente. Esta *instancia* se convierte en un insumo vital de la reflexión, y a su vez en el espacio de intervención posterior al análisis de su propia práctica, en el que eventualmente aparecen ‘materializadas’ sus progresivas re-conceptualizaciones en torno a la ciencia y la enseñanza de la ciencia, desde la Historia de la Ciencia como recurso orientador de su discurso.

En relación a la *instancia* denominada **Reflexión Dialógica –RD–**, de la cual se llevaron a cabo cuatro (4) sesiones, se resalta su valor como espacio de reflexión analítica y de evaluación y orientación de la intervención en el aula. Así, luego del análisis individual previo (PRI), se llega a dar sentido a la forma en que la Historia de la Ciencia aparece y se consolida como referente metateórico del discurso profesional docente en el aula.

En relación a la *instancia* de formación denominada **Taller de Formación Docente –TFD–**, de la cual se llevaron a cabo 18 sesiones, y en la que se presenta participación sistemática del colectivo docente que participa del proceso (siete profesoras de química en el caso referido), se destaca su pertinencia como espacio de reflexión teórica en torno a las problemáticas propias de la didáctica de la ciencia, lo mismo que de aproximación teórica a los planteamientos de los historiadores de la ciencia, para de esta forma encontrar relación entre estos dos campos disciplinares, y así establecer progresivamente la forma en que la Historia de la Ciencia habría de orientar el discurso profesional docente.

Es importante señalar también, que este espacio colectivo de teorización, también se convierte en el espacio de intercambio de experiencias profesionales, lo cual conduce al enriquecimiento de las propias prácticas de aula, lo mismo que a

21 En el estudio citado como referencia de la propuesta (Cuéllar, 2010), se han dejado fuera del análisis once categorías emergentes, en función de los objetivos de la investigación, debido a dos razones principales: 1) No se encontró un vínculo directo entre ellas y los objetivos propuestos, y 2) No aparecieron ni se registraron suficientes datos para ser analizados como evidencia, en la posterior elaboración de cada uno de los Perfiles Temáticos de Reflexión.

la producción intelectual de nuevas propuestas de enseñanza a implementar en el aula, desde el marco referencial de la Historia de la Ciencia.

Finalmente en este análisis de los aportes metodológicos, se destaca que cada una de las *instancias* denominadas **entrevistas inicial y entrevista final (EI-EF)**, se convierten en aquellos espacios que permiten hacer una 'valoración' del discurso profesional docente, antes y después de la investigación, y son estas *instancias* las que permiten la identificación de las *categorías* de análisis (según las intencionalidades del caso estudiado), en donde se observa la consolidación de la Historia de la Ciencia como generadora de un gran número de categorías de reflexión, inicialmente ausentes en el inicio de la investigación.

Por último en este apartado, vale la pena aclarar que no se profundiza de manera específica en los resultados del *aporte teórico disciplinar* de la Historia de la Ciencia en el desarrollo profesional docente (por lo que se ha presentado solo lo relacionado con el diseño metodológico de una propuesta de investigación), en consideración a las finalidades del presente documento, relacionadas con la presentación de algunos antecedentes para situar en nuestras prácticas docentes la importancia de la implementación de propuestas innovadoras, e iniciar un eventual debate en torno a las ideas presentadas²²

7.9 Algunas ideas para continuar el debate en torno a la importancia de la Historia de la Ciencia en el mejoramiento de la calidad de la educación

En consideración a la estructura del presente documento, en el cual se han abordado de manera específica diversos ámbitos relacionados con la Historia de la Ciencia en *los libros de texto*, en la *formación inicial de profesores de ciencias* y en la *formación continua de profesores de ciencia en ejercicio*, y no obstante la presentación preliminar de una serie de planteamientos a manera de *conclusiones*, de manera diferenciada al término de cada uno de dichos 'sub-apartados', se presentan a continuación algunas *implicaciones didácticas*, derivadas de una visión general respecto de la importancia de la Historia de la Ciencia en la enseñanza.

La ciencia escolar (Izquierdo, 2005) es un espacio de argumentación en el que, entre otras finalidades, se busca que el estudiantado pueda incorporar el lenguaje y las representaciones de la ciencia erudita en sus explicaciones, en el marco del

22 Además, el autor de este documento está trabajando simultáneamente en la publicación de un artículo especializado en dicho componente disciplinar, vinculado a los resultados teóricos de la implementación de la propuesta de la Historia de la Ciencia en el discurso profesional docente (*en edición*).

reconocimiento de ésta como una actividad humana, lo cual puede ser posible desde la inclusión de disciplinas metacientíficas, como la Historia y la Epistemología de la Ciencia.

Al respecto, y como señalan Quintanilla *et al.* (2006), La historia de la ciencia promueve una mejor comprensión de los conceptos y métodos científicos, ya que desde diversos enfoques históricos es posible vincular el desarrollo del pensamiento individual con el desarrollo de las ideas científicas en su contexto. La historia de la ciencia es necesaria para entender la naturaleza de la ciencia, pues a partir de ella se puede cuestionar el cientificismo y dogmatismo que es común encontrar en nuestras clases y textos de ciencia. Asimismo, desde la historia de la ciencia es posible analizar la vida y época de científicos individuales, humanizando los contenidos propios del saber erudito de la ciencia, haciéndola menos abstracta y más heurística y cercana a los estudiantes y a la sociedad en general. Finalmente, la historia de la ciencia nos permite conectar la ciencia específica con tópicos y temas propios de cada disciplina y también conectar con otros saberes eruditos, integrando la natural interdependencia y complejidad del conocimiento humano y su aprendizaje.

Asumir la incorporación de la historia de la ciencia en la enseñanza y en la formación docente –inicial y continua– permite identificar un amplio espacio de libertad para el profesor y también para el divulgador que diseña, aplica y evalúa el currículo, las actividades, las estrategias y los medios de transmisión y comprensión del saber erudito, puesto que le permite explorar de manera naturalista y no normativa la validez de las relaciones entre los modelos teóricos y los fenómenos y entre ambos y el lenguaje que les da sentido (Izquierdo *et al.*, 2006).

En este sentido, García (2006) señala que se pretende que el profesorado que enseña este saber erudito, se fundamente en los estudios derivados de la investigación sobre la historia de la ciencia, a partir de lo cual pueda tomar decisiones frente al *qué, cómo y cuándo* enseñar, estableciendo criterios que le permitan generar en los estudiantes reflexiones sobre cómo se construyeron los conocimientos y no solo los conocimientos mismos, es decir una postura desde la propia epistemología de la ciencia.

ANEXO

CARACTERIZACIÓN DE LAS CATEGORÍAS SELECCIONADAS EN EL PERFIL TEMÁTICO DE REFLEXIÓN - PTR

Se señala que para este proceso de caracterización de las categorías de reflexión se han tomado como base *unidades discursivas* emergentes del pensamiento de la profesora, como 'fragmentos representativos', explicitados en las etapas e instancias de la investigación, los cuales fueron complementados con los marcos teóricos de referencia, para así generar la propuesta de caracterización de cada una de dichas categorías. Cabe destacar que esta caracterización propuesta ha sido sometida a un proceso de determinación de la 'validez interna', por parte de pares investigadores en Historia de la Ciencia y Formación Docente, encontrándose coincidencia aprobatoria en las valoraciones realizadas por los dos jueces, en torno a lo propuesto para cada una de estas **cuatro** categorías.

A continuación, y de conformidad con lo establecido, se presenta la caracterización de cada una de las cuatro categorías a considerar en el análisis de los resultados obtenidos:

- **LA HISTORIA DE LA CIENCIA Y SU RELACIÓN CON LAS IDEAS EN TORNO A LA NATURALEZA DE LA CIENCIA - (HC_NC)**

Se consideran dentro de este ámbito del **PTR**, aquellas evidencias y atributos, implícitos y explícitos en el discurso profesional docente, que dan cuenta de *planteamientos en torno a la **comprensión de la química como una actividad científica profundamente humana**, caracterizada por su dinámica de construcción social, ligada a intereses personales, sociales, culturales, políticos y económicos propios de sus contextos de producción, lo cual adquiere valor al momento de enseñarla en el aula de clase.*

- **HISTORIA DE LA CIENCIA, PERSPECTIVAS Y POSIBILIDADES DE INCORPORACIÓN EN LA COMUNICACIÓN DE LA CIENCIA EN EL AULA (PH_ICQ)**

Se consideran dentro de este ámbito del **PTR**, aquellas evidencias, implícitas y explícitas en el discurso profesional docente, que sistemáticamente dan cuenta de la ***necesidad de fundamentación teórica sobre la HC, lo mismo que a la progresividad en el discurso profesional docente**, desde opciones cronológicas y hagiográficas, hacia perspectivas que permiten el análisis filogénico y ontogénico del conocimiento científico, pertinentes con las finalidades centradas en la **comprensión naturalizada** de los modelos científicos propuestos curricularmente.*

- **LA HISTORIA DE LA CIENCIA Y EL DISCURSO PROFESIONAL DOCENTE, EN SU DIMENSIÓN DEL DISCURSO QUÍMICO (HC_DPD_DQ)**

Se consideran dentro de este ámbito del **PTR**, aquellas evidencias, implícitas y explícitas en el discurso profesional docente, que desde la *reflexión sustentada en la incorporación de la HC dan cuenta del cuestionamiento de los modelos teóricos y las nociones científicas inherentes que conforman su discurso químico*, al tiempo que favorecen la necesidad de **consolidación teórica** de dicho discurso que comunica en el aula.

- **HISTORIA DE LA CIENCIA Y POSIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS PROPUESTAS DE ENSEÑANZA – (HC_NP)**

Se consideran dentro de este ámbito del **PTR**, aquellas evidencias y atributos, implícitos y explícitos en el discurso profesional docente, relacionadas con *aspectos disciplinarios y metodológicos*, que dan origen a **nuevas actividades y ambientes intencionados para la evolución de los perfiles conceptuales en la modelización científica en el aula**, caracterizados por *su riqueza metacognitiva, importancia del lenguaje y participación colectiva en la construcción de significados compartidos en torno al conocimiento científico escolar*.

Referencias bibliográficas

- Adúriz-Bravo, A.** (2008). La naturaleza de la ciencia. In C. Merino, A. Gómez & A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Área y estrategias de Investigación en la Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 226). Barcelona: Universitat Autònoma 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*, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona.
- Angulo, F., & García, M. P.** (2008). Formar profesores mediante la investigación acción. In C. Merino, A. Gómez & A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Área y estrategias de investigación en didáctica de las ciencias experimentales* (Vol. I, pp. 211-226). Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Barona, J. L.** (1994). *Ciencia e Historia. Debates y tendencias en la historiografía de la ciencia*. Valencia: SEC.
- Camacho, J., & Cuellar, L.** (2007). La ley periódica analizada desde el modelo de Toulmin. aportes para la enseñanza de la Historia de la Química. In M. Quintanilla (Ed.), *Historia de la Ciencia. Propuestas para su divulgación y enseñanza* (Vol. II, pp. 107-124). Santiago: Arrayán.
- Candela, A.** (2006). Construcción discursiva de la ciencia en el aula. In M. Quintanilla & A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y propuestas* (pp. 43-55). Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Couso, D.** (2002). *Análisis del contenido del discurso de los profesores de ciencias de secundaria en el diseño de unidades didácticas de forma cooperativa*. Tesina de Maestría. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona.
- Cuéllar, L. Gallego, R. y Pérez, R.** (2008) El modelo atómico de E. Rutherford. Del saber científico al conocimiento escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 26 (1), 43-52.

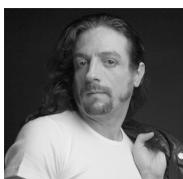
- Cuéllar, L.** (2010) La historia de la química en la reflexión sobre la práctica profesional docente. Un estudio de caso desde la enseñanza de la ley periódica. Tesis Doctoral. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.
- Cuéllar, L.,** Quintanilla y Marzábal, A. (2010) La importancia de la historia de la química en la enseñanza escolar. Análisis del pensamiento y elaboración de material didáctico de profesores en formación. *Ciència & Educaçao*. 16 (2), 277-293.
- Farías, D.** (2012) Teoría, estructura y modelos atómicos en los libros de texto de química de educación secundaria. Análisis desde la sociología de la ciencia e implicaciones didácticas. *Tesis Doctoral*. Universidad de Barcelona.
- García, A.** (2009). *Aportes de la historia de la ciencia al desarrollo profesional de los profesores de química.*, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona.
- Giere, R.** (1992). La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo. México: Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Izquierdo, M.** (2000). Fundamentos Epistemológicos. In F. J. Perales & P. Cañal (Eds.), *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (pp. 35-64). Madrid: Alcoy.
- Izquierdo, M.** (2005) Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las Ciencias*, 23 (1), 111-122.
- Izquierdo, M. y Aliberas, J.** (2005) Pensar, escriure y actuar a la classe de ciènces. Per un ensenyament de les ciènces racional i raonable. Cerdanyola:UAB.
- Izquierdo, M., Vallverdú, J., Quintanilla, M., Y Merino, C.** (2006). Relaciones entre la historia y la filosofía de la ciencia II. . *Alambique*, 48(1), 78-91.
- Kragh, H.** (1990). Una introducción a la Historia de la Ciencia. Barcelona: Crítica.
- Labarrere, A., & Quintanilla, M.** (2002). La solución de problemas científicos en el aula. Reflexiones desde los planos de análisis y desarrollo. *Pensamiento Educativo*, 30, 121-137.
- Lires, M.** (2007) ¿Qué historia de la ciencia enseñar? Orientaciones para la formación docente. En: *Historia de la Ciencia. Aportes para la formación del profesorado*. Santiago: Arrayán. p. 65-80.
- Lemke, J.** (1997). *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós.
- Levitt, K.** (2002). Ananalysis of elementary teacher's beliefs regarding the teaching and learning of science. *Science Education*, 86(1), 1-22.

- Martín del Pozo, R., & Porlán, R.** (2006). Cómo progresa el profesorado al investigar problemas prácticos relacionados con la enseñanza de la ciencia? *Alambique*, 48, 92-99.
- Matthews, M.** (1994). Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 25-277.
- Martín del Pozo, R., & Porlán, R.** (2006). Cómo progresa el profesorado al investigar problemas prácticos relacionados con la enseñanza de la ciencia? *Alambique*, 48, 92-99.
- Mellado, V.** (1996). Concepciones y prácticas de aula de profesores de ciencias, en formación inicial de primaria y secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 289-302.
- Mellado, V.** (2003). Cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales y filosofía de la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 343-358.
- Mortimer, E.** (2005). *Lenguaje y formación de conceptos en la enseñanza de las ciencias*. Madrid: Machado Libros.
- Porlán, R., & Rivero, A.** (1998). El conocimiento de los profesores. Madrid: Diada.
- 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.
- Quintanilla, M.** (2006). Identificación, caracterización y evaluación de competencias científicas desde una imagen naturalizada de la ciencia. In M. Quintanilla & A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y propuestas*. (pp. 17-42). Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Quintanilla, M.** (2007). La enseñanza del modelo atómico de John Dalton desde una visión naturalizada de la historia de la química. En: Quintanilla, M. (2007) *Historia de la Ciencia. Aportes para su divulgación y enseñanza*. Vol. II. Santiago: Arrayán
- Quintanilla, M., Cuellar, L. y Camacho, J.** (2007) Aportes de la Historia de la Química a una didáctica de la teoría atómica en libros de texto. *IV Congreso Iberoamericano de Educación Científica*. CONACET-Perú. Unesco. *Actas de Congreso*.
- Solsona, N.** (2007). Las mujeres en la Historia de la Ciencia. In M. Quintanilla (Ed.), *Historia de la Ciencia. Aportes para la formación del profesorado* (Vol. I, pp. 37-64). Santiago: Arrayán.

- Schön, D.** (1983). *The Reflective Practitioner: how professionals think in action*: Basic Books.
- Schulman, L.** (1986). Paradigms and Research Programas in the study of Teaching. A contemporary perspective. In M. Wittrock (Ed.), *Hanbook of Research on Teaching* (3 ed., pp. 3-36). New York: MacMillan.
- Toulmin, S.** (1977) *La comprensión humana. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid. Alianza.
- Zimmermann, E.** (2000). The Structure and Developing of Science Teachers' Pedagogical Models: Implications for Teacher Education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.



Los Autores



AGUSTÍN ADÚRIZ-BRAVO. Estudió física, epistemología y didáctica de las ciencias naturales en la Universidad de Buenos Aires (Argentina), la Universitat Autònoma de Barcelona (España) y el King's College London (Reino Unido). Actualmente se desempeña como Investigador del CONICET en el Instituto CeFIEC de la Universidad de Buenos Aires. Ha sido Profesor Visitante de más de veinte Universidades de América y Europa. E-mail: adurizbravo@yahoo.com.ar



MARÍA ÁLVAREZ LIRES. Dra. en Ciencias Químicas de la Universidad de Vigo en Galicia, España y catedrática de enseñanza secundaria. Autora de numerosas publicaciones, artículos, capítulos de libros y libros relacionados con sus investigaciones en el ámbito de la historia de la ciencia y género. Ha participado activamente en instituciones europeas vinculantes con su área de investigación. Del mismo modo ha sido directora y co-directora de tesis de maestría y doctorado en enseñanza de las ciencias. Profesora visitante en diferentes Centros de Investigación y universidades en América Latina y Europa. E-mail: liresmari@gmail.com



CAROLINA ARREDONDO HERRERA. Profesora de Química y Ciencias Naturales de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Actualmente se encuentra estudiando en la Universidad Técnica Federico Santa María de Valparaíso. E-mail: carolinahaydeearredondo@gmail.com



LUIGI CUÉLLAR FERNÁNDEZ. Licenciado en Química y Magíster en Docencia de la Química de la Universidad Pedagógica Nacional (Bogotá, Colombia). Dr. En Ciencias de la Educación, Pontificia Universidad Católica de Chile. Forma parte del capítulo chileno de la Red Internacional de Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Ha integrado permanentemente el Laboratorio GRECIA de investigaciones en Didáctica de las Ciencias Experimentales, siendo uno de los pioneros en Chile en doctorarse en temas inherentes a esta área. Autor de numero-

sas publicaciones, artículos, capítulos de libros relacionados con sus investigaciones en el ámbito de la historia de la ciencia y la formación de profesores. Actualmente es académico e investigador de la Facultad de Educación de la Universidad Católica de la Santísima Concepción (Chile) en la cual ha sido Director del Departamento de Didáctica.

E-mail: luigicuellar@yahoo.com



BEATRIZ DÍAZ PÉREZ. Profesora de Química y Ciencias Naturales de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Actualmente se encuentra realizando un magister en Química en la Universidad de Santiago. E-mail: beatrizdp@gmail.com



ÁLVARO GARCÍA MÁRQUEZ. Dr. en Didáctica de las Ciencias experimentales de la Universidad Autónoma de Barcelona. Académico e Investigador de la Universidad Francisco José de Caldas en Bogotá, Colombia. Autor de numerosas publicaciones, artículos, capítulos de libros y libros relacionados con sus investigaciones en el ámbito de la historia de la ciencia y formación de profesores. Asesor permanente del Laboratorio GRECIA e integrante de la Red Internacional de Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales de las cuales es uno de sus fundadores. Participa de numerosos proyectos de investigación nacionales e internacionales relacionados con la enseñanza de las ciencias y la formación de profesores. E-mail: alvgarciam@gmail.com



MERCÈ IZQUIERDO-AYMERICH. Doctora en Química, catedrática de Universidad Emérita de Didáctica de las Ciencias (UAB). Ha sido profesora de química en secundaria y en la universidad y de didáctica de las ciencias en la universidad. Ha dedicado los últimos veinte años a la formación de profesores (primaria y secundaria) Su investigación se dedica a lenguaje y enseñanza de las ciencias (grupo reconocidos LIEC, del cual fue la primera directora) y a la fundamentación histórica y filosófica de la didáctica de las Ciencias. Ha publicado numerosos artículos, capítulos de libro y libros sobre los resultados de las investigaciones que ha dirigido. Ha sido presidenta del Colegio profesional de profesores, responsable de Formación de profesores en el Departament d'Ensenyament (Generalitat de Catalunya) vicerrectora de la UAB. Forma parte del grupo que fundó el Centre d'Estudis de Història de la Ciència (CEHIC) en la UAB. Profesora visitante en diferentes Centros de Investigación y universidades en América Latina y Europa.

E-mail: Merce.Izquierdo@uab.cat



ROXANA JARA CAMPOS. Profesora de Química por la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y Doctora en Educación, por la Pontificia Universidad Católica de Chile. Profesora asociada e investigadora en Enseñanza de la Química en diferentes niveles educativos en el Instituto de Química de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile. Profesora del Laboratorio GRECIA. E-mail: roxana.jara@ucv.cl



CAROL JOGLAR CAMPOS. Licenciada en Ciencias Biológicas por la Universidad Estadual de Maringá, Brasil, actuó durante 20 años en la docencia de la biología. Magister en Ciencias de la educación por la PUC do Rio Grande do Sul, Brasil. Magíster en Educación en Ciencias y Matemática por la PUC de Chile. Candidata a doctora en Ciencias de la Educación por la PUC de Chile. Tesista-investigadora del Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales G.R.E.C.I.A. Investigaciones en Didáctica de las Ciencias Experimentales centrada el tema de la formación de profesores, historia de la ciencia y ciencia y género. Actualmente se desempeña como docente en la Universidad Central de Chile. E-mail: cjoglarc@uc.cl



ALBERTO LABARRERE SARDUY. Dr. en ciencias pedagógicas de la Universidad de la Habana, Cuba. De vasta trayectoria y reconocimiento en su área, se ha especializado en temas de creatividad, talento, inteligencia y resolución de problemas en el área de las matemáticas y las ciencias. Ha integrado permanentemente el Laboratorio GRECIA de investigaciones en Didáctica de las Ciencias y dirigido numerosas tesis de maestría y doctorado en su área de investigación. Profesor visitante en diferentes universidades de Latinoamérica y Europa. Actualmente dirige el Magíster en Psicología Educativa de la Universidad Santo Tomás en Chile. Email: alabarrere@santotomas.cl



OLGA MALVAEZ SÁNCHEZ. Dra. Ciencias de la Educación, Pontificia Universidad Católica de Chile, Magíster en Ciencias de la Educación de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Maestra en Educación superior, Instituto Cultural PAIDEIA, Licenciada en Psicología, Universidad Autónoma del Estado de México. Tesista-investigadora del Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales GRECIA. Asesora del área de Evaluación Educativa del Instituto de Evaluación Educativa del Estado de México. Temas de Investigación: Formación inicial de profesores, formación y actualización docente, aprendizaje y desarrollo. E-mail: malvaez30@gmail.com



CRISTIÁN MERINO RUBILAR. Es Licenciado en Educación y Profesor de Química y Ciencias Naturales por la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales por la Universidad Autónoma de Barcelona. Actualmente es Profesor asociado e investigador en Enseñanza de la Química, en diferentes niveles educativos en el Instituto de Química de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile). Sus intereses de investigación se centran en la caracterización de la actividad química escolar para el diseño, desarrollo y análisis de secuencias/trayectorias de enseñanza y aprendizaje innovadoras que favorezcan la construcción de explicaciones científicas escolares, con énfasis en el tránsito entre el fenómeno y la teoría bajo un enfoque modelador a través de mediaciones cognitivas o tecnológicas para la formación de profesores de ciencias (especialmente en química). Email: cristian.merino@ucv.cl



CECILIA MORALES CISTERNAS. Profesora de Química y Ciencias Naturales de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Actualmente se desempeña como colaboradora en proyectos de Investigación ligados a la formación inicial de profesores de ciencias y como profesora agregada del Instituto de Química de la PUCV. E-mail: ceciliaamorales@gmail.com



MARIANELA PÉREZ VILLANUEVA. Profesora de Química y Ciencias Naturales de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Actualmente se desempeña en el colegio Seminario San Rafael de Valparaíso. E-mail: meryperezv@gmail.com



MARIO QUINTANILLA GATICA. Doctor en Didáctica de las Ciencias experimentales de la Universidad Autónoma de Barcelona (1997). Académico e investigador de la Pontificia Universidad Católica de Chile, desde 1998. Fundador y actual director del Laboratorio GRECIA y de la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de las Ciencias (*Bellaterra*) de la cual es su presidente. Ha sido asesor y colaborador de la UNESCO en diferentes países de América Latina y El Caribe. Director de proyectos de investigación nacional y de cooperación internacional e integrante de la Red Internacional de Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales de las cuales es uno de sus fundadores. Autor de numerosas publicaciones, artículos, capítulos de libros y libros relacionados con sus investigaciones en el ámbito de la epistemología, historia de la ciencia, resolución de problemas científicos escolares y discurso científico del profesorado de ciencia. Profesor visitante en diferentes universidades de América y Europa. Ha sido directivo de la Facultad de Educación de la PUC en diferentes cargos y responsabilidades institucionales hasta el 2013. E-mail: mariorgg@gmail.com



LETICIA SÁNCHEZ LIMA. Es Doctora en Educación por el Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) en México. Profesora-investigadora en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) en México. Investigadora educativa desde 1990. Investigaciones recientes “Procesos de Formación de Investigadores en Programas de Posgrado en Ingeniería” (2006) y “Condiciones Laborales y Competencias Profesionales de Egresados de la Facultad de Psicología de la UAEM” (2009). Actualmente orienta sus intereses de investigación dentro del ámbito de los Procesos de Formación Profesional y Desarrollo de Competencias.
E-mail: letysanchez@cenidet.edu.mx



NÚRIA SOLSONA PAIRÓ. Química y Doctora en Ciencias de la Educación. Profesora de Secundaria. Grupo LIEC de la Universidad Autónoma de Barcelona (España). Autora de numerosas publicaciones, artículos, capítulos de libros y libros relacionados con sus investigaciones en el ámbito de la historia de la ciencia y género, tales como Análisis comparativo de intervenciones formativas sobre el cambio químico, Diálogos con recetas alquímicas y una educación química que promueva el interés de chicas y chicos. Ha participado activamente en instituciones europeas vinculantes con su área de investigación.
E-mail: nsolsona@xtec.cat

La noción de *Competencia de Pensamiento Científico (CPC)*, está ganando terreno muy rápidamente en la discusión científica internacional, en torno a la calidad de la educación en ciencias. Las CPC nos remiten a una persona (“sujeto competente”) capaz de enfrentarse a desafíos intelectuales valiosos y desafiantes, y de encontrarse con problemas genuinos y de resolverlos exitosamente, contribuyendo así a la construcción de representaciones mentales significativas que colaboren a la interpretación de hechos, fenómenos o situaciones del mundo real; afectivamente comprometidas con el conocimiento, el lenguaje y la cultura; tal y como lo hemos venido sosteniendo en nuestras investigaciones de los últimos ocho años.

En consecuencia, este libro reitera, en sus directrices teóricas y de campo, que esta tarea, desde una perspectiva participativa, no puede llevarse a cabo sin la presencia de los profesores como **verdaderos protagonistas del cambio en el aula**. Se aspira, por lo mismo, a promover y desarrollar una *Nueva Enseñanza de las Ciencias (NEC)*, cuyo foco central sea el aprendizaje, como motor y estrategia del desarrollo. Lo que significa facilitar y acceder de manera consciente a los procesos, condiciones y productos que tienen lugar durante la formación y desarrollo del sujeto que aprende y enseña, para la promoción y desarrollo de Competencias de Pensamiento Científico de nivel superior, que le permitan a los ciudadanas y ciudadanos del nuevo siglo comprender el sentido del conocimiento en el mundo, y aprender a interpretarlo teóricamente de manera razonable como una actividad profundamente humana, con sentido y valor.

Mario Quintanilla Gatica

