Historia, Filosofía y Didáctica de las Ciencias: Aportes para la formación del profesorado de ciencias

Mercè Izquierdo Aymerich
Álvaro García Martínez
Mario Quintanilla Gatica
Agustín Adúriz Bravo

Serie Investigaciones
No. 6

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Doctorado Interinstitucional en Educación DIE

Editorial

Historia, filosofía y didáctica de las ciencias : aportes para la formación del profesorado de ciencias / Mercé Izquierdo Aymerich y otros. -- Bogotá : Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2016.
124 páginas ; 24 cm.
ISBN 978-958-8972-27-5
1. Educación - Investigaciones 2. Ciencia - Enseñanza - Metodología 2. Filosofía de la ciencia 3. Formación profesional de maestros 4. Métodos de enseñanza 5. Pedagogía I. Izquierdo Aymerich, Mercé, 1941- , autor.
371.102 cd 21 ed.
A1535967

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango

Historia, Filosofía y Didáctica de las Ciencias: Aportes para la formación del profesorado de ciencias

Mercè Izquierdo Aymerich, Álvaro García Martínez,
Mario Quintanilla Gatica y Agustín Adúriz Bravo

Serie Investigaciones

Doctorado Interinstitucional en Educación DIE
Universidad del Valle · Universidad Distrital Francisco José de Caldas · Universidad Pedagógica Nacional

No. 6



UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Comité Editorial Interinstitucional-CAIDE
Carlos Javier Mosquera Suárez
Director Nacional

Alexander Ruiz
Coordinador DIE, Universidad Pedagógica Nacional

Sandra Soler Castillo
Directora DIE, Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Jaime Humberto Leiva
Coordinador DIE, Universidad del Valle

Comité Editorial-CADE
Sandra Soler Castillo
Presidenta CADE

William Manuel Mora Penagos
Representante grupos de investigación: Interculturalidad, Ciencia y Tecnología-INTERCITEC, y del Grupo Didáctica de la Química-DIDAQUIM, del Énfasis de Educación en Ciencias.

Juan Carlos Amador Baquiro
Representante de los grupos de investigación: Moralia, Estudios del Discurso, Filosofía y Enseñanza de la Filosofía, Grupo de investigación Interdisciplinaria en Pedagogía de Lenguaje y las Matemáticas–GIIPLyM y Jóvenes, Culturas y Poderes, del Énfasis de Lenguaje y Educación.

Martin Eduardo Acosta Gempeler
Representante de los grupos de investigación: Grupo de Investigación Interdisciplinaria en Pedagogía de Lenguaje y las Matemáticas GIIPLyM, Matemáticas Escolares Universidad Distrital-mescud y Edumat, del Énfasis de Educación Matemática

Bárbara García Sánchez
Representante del grupo de investigación Formación de Educadores, del énfasis de Historia de la Educación, Pedagogía y Educación Comparada

Carlos Javier Mosquera Suárez
Rector (E)
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Giovanni Rodrigo Bermúdez Bohórquez
Vicerrector Académico
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

ISBN Impreso: 978-958-8972-27-5
ISBN Digital: 978-958-8972-28-2

© U. Distrital Francisco José de Caldas

Preparación Editorial
Doctorado Interinstitucional en Educación
Sede U. Distrital Francisco José de Caldas
http://die.udistrital.edu.co

Elban Gerardo Roa Díaz
Asistente editorial
eventosdie@udistrital.edu.co

Fondo de publicaciones
U. Distrital Francisco José de Caldas
Carrera 24 No. 34 - 37
PBX: (57+1) 3239300, ext.6201
publicaciones@udistrital.edu.co

Diseño, Diagramación e impresión
Fundación Común Presencia
Cra 11 No. 61 - 35 (401)
Tel: 249 5782. Bogotá.

Prohibida la reproducción total o parcial de la presente obra por cualquier medio sin permiso escrito de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Bogotá, Colombia, 2016

PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE

Comité Editorial

Dr. Manuel Santos Alcántara

Investigador Facultad de Ciencias Biológicas,
Universidad Católica de Chile.

Dra. María Cristina Solis

Directora del Departamento de Didáctica. Facultad de Educación. Universidad Católica de Chile.

Dr. Horacio Solar Besmanilovic

Representante del Departamento de Didáctica ante el Claustro Doctoral de la Facultad de Educación de la Universidad Católica de Chile.

Dr. Luigi Cuellar Fernández

Representante del Laboratorio GRECIA-UC de la Facultad de Educación de la Universidad Católica de Chile.

MSc. Verónica Astroza Ibañez.

Representante del Laboratorio GRECIA-UC de la Facultad de Educación de la Universidad Católica de Chile.

Historia, Filosofía y Didáctica de las Ciencias: Aportes para la formación del profesorado de ciencias

Este libro es posible gracias al proyecto financiado por COLCIENCIAS - CONICYT *"Caracterización de un modelo de formación continua de profesores de ciencias naturales con base en la promoción de Competencias de Pensamiento Científico. Su aporte teórico y metodológico al mejoramiento de la educación científica en Chile y Colombia con base en la investigación en didáctica de las ciencias"* , que ha sido desarrollado en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y en la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Contenido

Prólogo

Capítulo I. Historia y Filosofía de la Ciencia en la Investigación Didáctica 13

1. Introducción 13
2. ¿Qué aporta la Historia y Filosofía de las ciencias a la enseñanza de la ciencia? (¿Por qué la H&F de la Ciencia puede interesar a los profesores?) 14
2. ¿Qué líneas de investigación se perfilan? 22
3. ¿Qué aporta la H&F de la C al diseño de Unidades Didácticas? La reconstrucción didáctica de los episodios históricos 32
4. Un caso para analizar: la aventura de calcular las masas atómicas de los elementos 36
5. Reflexiones finales 39

Capítulo II. Historia y Filosofía de las ciencias y Formación del profesorado: De una relación compleja a una realidad transformadora 41

Introducción

1. ¿De qué Historia de la Ciencia hablamos para formar al profesorado? 41
2. ¿En qué se beneficia un profesor al saber de historia de la ciencia? 43
3. ¿Qué perspectivas de formación del profesorado pueden generarse a través de la historia de la ciencia? 45

3.1. Una alternativa desde el ciclo teórico empírico 45

3.2. Una mirada desde las comunidades de desarrollo profesional, CODEP 47

4. ¿Qué tipo de estrategias pueden emplearse para formar al profesor a partir de la historia de la ciencia? 53
5. Reflexiones finales 63

Capitulo III. Historia, filosofía, didáctica de las ciencias y prácticas de aula. Una propuesta para re-pensar la enseñanza de la química. 67

Introducción

1. ¿Qué polémicas nos parecen valiosas para nuevos desafíos en la enseñanza de la química, considerando la HC como estrategia e instrumento? 70
2. ¿Por qué una noción naturalizada de la química como ciencia experimental puede ser útil para incorporarla en las prácticas de aula? 73
3. ¿Es posible una Didáctica de la química orientada desde la HQ y la FQ? 75
4. ¿Qué riesgos enfrentamos como profesores de ciencias al considerar una historia y filosofía de la química 'hagiográfica'? 76
5. ¿Qué H&F de la Q nos 'seduce'? Sugerencias y propuestas para el docente. 76

6. Una propuesta desde el análisis de la reconstrucción de textos históricos para ser incorporadas a las prácticas de aula 77
6.1. Algunas implicaciones didácticas del uso de la H&Fde la Q en las prácticas de aula 77
6.2. ¿Qué ejemplos de prácticas de aula pueden resultar desafíos intelectuales valiosos para los estudiantes? 78
6.3. La historia de las sustancias en fase gaseosa. Una 'seducción filosófica e histórica' 80
7. Reflexiones finales 91
Capítulo IV. Historia y filosofía de la ciencia para la enseñanza de las ciencias: La noción de naturaleza de la ciencia 93
Introducción 93
1. ¿Cómo se define la naturaleza de la ciencia? 93
2. ¿Qué desafíos valiosos se nos presentan a la hora de enseñar la naturaleza de la ciencia? 97
2.1. ¿Hacia qué finalidades nos interesa que apunte la naturaleza de la ciencia en la enseñanza de las ciencias y en la formación del profesorado de ciencias? 99
2.2. ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de enseñar para una nueva "cultura científica" y una profesionalización del profesorado de ciencias? 100
2.3. ¿Cómo enseñar la naturaleza de la ciencia en estos escenarios complejos? 102
3. Una actividad didáctica para enseñar la naturaleza de la ciencia 104
4. Reflexiones finales 107
Referencias 109

Prólogo

El libro Historia, Filosofía y Didáctica de las Ciencias: Contribuciones a la Formación del profesorado de ciencias, de los autores Mercè Izquierdo Aymerich, Álvaro García Martínez, Mario Quintanilla Gatica y Agustín Adúriz Bravo, aborda un tema importante para la formación de profesores de ciencias: las contribuciones de la historia y la filosofía de las ciencias que proponen estrategias para la enseñanza de las ciencias. Los autores, grandes maestros de la Educación en Ciencias y la inserción especial en el área de historia y filosofía de las ciencias, presentan una visión bastante completa del tema, mientras que ejemplifican su uso por las sugerencias de unidades didácticas muy bien preparadas, culminando cada capítulo de la obra.

Es, por lo tanto, una obra valiosa para profesores en formación y en ejercicio de las áreas de las ciencias de la naturaleza, y también para estudiantes de maestría y doctorado en Ciencias de la Educación. La claridad y la profundidad con la que se tratan diversas cuestiones relacionadas con la historia y la filosofía de las ciencias y su aplicación en el desarrollo de unidades de enseñanza para los cursos de ciencias, hace que este libro sea una lectura obligatoria para todos aquellos interesados en profundizar en el área de la Didáctica e Historia y Filosofía de las Ciencias. Las contribuciones van desde la presentación de argumentos bien fundados sobre por qué y cómo introducir los estudios de Historia y Filosofía de la Ciencia en la enseñanza y en la investigación en didáctica, y la importancia de discutir la formación de los profesores en base a HFC, proporcionando modelos muy valiosos para ser aplicados en este proceso. El libro concluye con una discusión sobre la naturaleza de la ciencia y la educación para la ciudadanía, finalizando con argumentos contundentes esta hermosa obra que el lector tiene en sus manos.

En el primer capítulo, Historia y filosofía de la Ciencia en la Investigación didáctica, los autores explican la importancia de la historia de la ciencia para el profesor recurriendo a argumentos bien consolidados en la didáctica de las ciencias, por ejemplo, sugieren preguntas desafiantes sobre entidades tales como átomos, que se utilizan actualmente para explicar el funcionamiento y la estructura del mundo material; o permiten reconocer las ideas de los estudiantes al interpretar fenómenos y encontrar que hay un cierto paralelismo entre estas ideas y las explicaciones que dieron estos fenómenos en otros momentos históricos; o ilustrar la naturaleza de la ciencia, para poner en evidencia la complejidad de la actividad humana; o para inspirar nuevas estrategias para la presentación de temas complejos, tales como el uso de teatro en la ciencia escolar. El capítulo termina con la importante contribución de la Historia y la Filosofía de las Ciencias para el diseño de unidades didácticas, en consonancia con el resto de los capítulos del libro, se presentan ejemplos de unidades didácticas que concretizan el trabajo de los autores.

Entre las contribuciones al diseño de unidades didácticas podemos encontrar preguntas interesantes y valiosas, que a su vez desembocan en la elección y construcción de los hechos ejemplarizantes y en el desarrollo de diferentes estrategias retóricas argumentativas para persuadir, comunicar y evaluar. De este modo, la Historia y la Filosofía de las Ciencias ayuda a concretizar unidades didácticas en las que las "verdades" que se buscan no son definitivas. Con el surgimiento de nuevos problemas nuevas verdades emergen, en un continuo movimiento de la historia.

En el Capítulo II, Historia y Filosofía de las Ciencias y Formación del Profesorado: De una relación compleja a una realidad transformadora, trata de un problema fundamental para la Didáctica de las Ciencias, que es la formación de los profesores. El capítulo plantea una pregunta sobre qué perspectiva de formación del profesorado puede ser generada a partir de la historia de las ciencias. Los autores presentan varios modelos interesantes que ponen en tela de juicio la reflexión metacognitiva sobre el proceso de aprendizaje. Uno de esos modelos, usados en la formación de profesores de química en el ejercicio, se basa en 5 fases: (i) identificación de propósitos y selección de contenidos; (ii) selección del tópico y área de la historia de la ciencia a estudiar; (iii) diseño de la herramienta de enseñanza/aprendizaje; (iv) implementación y análisis del proceso de aplicación de la herramienta y, (v) reflexión metacognitiva sobre el proceso desarrollado. Lo que es vital en este modelo es que le ofrece a los profesores la oportunidad de diseñar e implementar herramientas para la enseñanza y el aprendizaje basado en la historia de las ciencias, además de ofrecer oportunidades constantes para la reflexión metacognitiva. El capítulo termina con un ejemplo de una unidad didáctica desarrollada para enseñar transformaciones químicas, en donde se tiene un papel preponderante "un episodio de la historia de la química en donde se resalta el papel de la experimentación y de los instrumentos científicos en la construcción del conocimiento científico". Una reflexión importante al final del capítulo destaca el principio de indeterminación didáctica: cuanto más preciso, menos comprensible. El compromiso del profesor, con el aprendizaje de sus alumnos, hace que sea necesario revisar sus conocimientos científicos con el fin de mejorar los contextos y de admitir que la verdad científica está escrita con letras minúsculas porque está limitada por la historia y los valores que se ponen en juego.

En el capítulo III, Historia, filosofía, didáctica de las Ciencias y prácticas de clase. Una Propuesta para re-pensar la Enseñanza de la química, se destaca la propuesta de reconstruir los textos históricos para ser incorporados en las prácticas de la clase de química. Después de reflexionar que la esencia de la actividad científica, como actividad humana, es la constante aproximación a la verdad; sin embargo nunca se logra plenamente, los autores discuten las características deseables de una práctica del aula de clase. Destacan la necesidad de explicar historias contextualizadas, comprender la historia de la química a partir de películas o dramatizaciones de situaciones históricas, repetir los experimentos históricos, identificar y describir instrumentos

y los métodos experimentales, usando biografías que destacan los valores humanos, mostrar a los estudiantes situaciones históricas de crisis históricas y de duda, promover el análisis de tesis históricas y leer textos históricos seleccionados.

Por último, los autores presentan la unidad didáctica "La historia de las sustancias en fase gaseosa. Una seducción filosófica e histórica" en donde ejemplifican de forma brillante un conjunto de características que hacen parte de una unidad didáctica basada en la historia y filosofía de la química.

Finalmente, en el capítulo IV, " Historia y filosofía de la ciencia para la enseñanza de las ciencias: La noción de naturaleza de la ciencia", los autores introducen la noción de naturaleza de la ciencia con el fin de precisar qué tipo de fundamentos son de interés para una educación científica que tiene como finalidad la investigación y la innovación, con la consiguiente formación de los profesores. Los autores definen la naturaleza de la ciencia como un conjunto de estudios sobre la naturaleza o la esencia profunda del conocimiento científico (ciencia como producto) y de la actividad científica (la ciencia como proceso), elaborados a partir de diferentes perspectivas de análisis: estructura, estatuto y la validez, funcionamiento, génesis, alcances y limitaciones y relaciones con la sociedad y la cultura. Estrechamente ligado a la noción de la Naturaleza de la Ciencia es la educación para la ciudadanía, a través de la cual un estudiante da sentido al mundo que le rodea, decodificación críticamente mensajes sobre la ciencia y la tecnología que circulan en los medios y valorando la actividad científica. Una persona educada científicamente debe ser capaz de tomar decisiones informadas sobre cuestiones socio-científicas que tocan su existencia como, por ejemplo, los alimentos y los organismos genéticamente modificados, la salud, la sexualidad o el cambio climático global y sus consecuencias locales. El libro Historia, Filosofía y Didáctica de las Ciencias: Aportes para la formación del profesorado de ciencias ofrece contribuciones significativas en este sentido, ya que permite a los futuros profesores y a los profesores en ejercicio una discusión profunda sobre estas cuestiones, ya sea a través del texto mismo, o por medio de la enseñanza de las unidades didácticas al final de cada capítulo.

Por lo tanto, el lector tiene a mano una obra bastante profunda, pero al mismo tiempo simple y directa en sus argumentos, además de buenos ejemplos de cómo abordar la Historia y la Filosofía de las Ciencias en la formación de profesores. Una lectura fundamental para todos aquellos que se dedican a enseñar ciencias y también para aquellos que investigan en Didáctica de las Ciencias.

Eduardo F. Mortimer
Facultad de Educación
Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil

Capítulo I. Historia y Filosofía de la Ciencia en la Investigación Didáctica

1. Introducción

Hace ya tiempo escribíamos que 'la ciencia sin historia no imagina el futuro, porque desconoce la sorpresa de preguntas imprevistas' (Quintanilla et al. 2006). Una ciencia así, sin sorpresas ni futuro, no es valiosa para nuestros alumnos, puesto que su trabajo se va a desarrollar en este futuro aún no imaginado. Los profesores debemos superar esta falta de perspectiva introduciendo la dimensión temporal en la ciencia que enseñamos en los diferentes niveles educativos. Pero esto no significa que debamos enseñar mostrando cómo evolucionaron los conceptos a lo largo de la historia. Temas como la historia de la teoría atómica (diferentes modelos de átomo en química), por ejemplo, son a menudo aburridos y difíciles de aprender para los alumnos y habitualmente resultan ser una pérdida de tiempo para el profesor.

Quizás esta afirmación es demasiado radical, pero puede ser situada históricamente. En efecto, ha sido una práctica común iniciar la enseñanza de un tema científico mostrando su evolución histórica, tanto para dar valor a lo nuevo que se va a enseñar (conocimientos que serán considerados, para la mayoría, mejores que los de antes) como para dar continuidad a una manera de trabajar y construir conocimiento ejemplar, 'científico', que incluye nuevos modelos y teorías. Con ello, el profesorado se aproximaría a un enfoque histórico de la ciencia, con su historia subsumida en los temas que se enseñan, por más que su enfoque no resista la visión crítica de la historiografía actual, como analizaremos más adelante.

La Historia de la Ciencia (HC) ha evolucionado, el historiador se ha profesionalizado (no es ya un profesor de ciencias aficionado a la historia) y ha incorporado nuevas perspectivas interesantes y prometedoras en su investigación (la social, la lingüística, la filosófica). Ahora sus intereses y objetivos son más amplios y desafiantes; el resultado es que proporciona una visión humanista de las ciencias que la propia actividad científica desdibuja. Con ello, descubrimos los valores sociales subyacentes, además de los epistémicos, que acompañan siempre a una ciencia construida por personas en distintas épocas y condiciones; y la posibilidad de nuevas preguntas no formuladas aún, porque no se generan en el mundo natural sino en la mente creativa de las personas.

La 'Ciencia del profesor de ciencias' (es decir, la Didactología o 'ciencia que se ocupa de cómo enseñar las Ciencias'[1]) necesita una ciencia humana con historia para poder diseñar actividades docentes que comuniquen a los alumnos que la ciencia 'es futuro' y que los profesores les invitamos a compartir la aventura de 'hacer ciencia', interviniendo en él como lo hicieron antes de nosotros muchos otros hombres y mujeres.

En el apartado 2 veremos las relaciones que la Enseñanza de las Ciencias ha establecido, en los últimos 50 años, con la HC, vinculada a su vez, desde Lakatos (1987), a la Filosofía de la Ciencia[2] (FC). En el apartado 3 consideraremos las cuestiones de investigación que estas demandas suscitan y que quedan abiertas**.** En el apartado 4 intentaremos relacionar estas investigaciones con la actividad científica escolar cuya promoción, gracias al diseño de Unidades Docentes, es uno de los principales objetivos de la Didactología.

2. ¿Qué aporta la Historia y Filosofía de las ciencias a la enseñanza de la ciencia? (¿Por qué la H&F de la Ciencia puede interesar a los profesores?)

Hay diversas razones de peso para justificar la relación íntima que debería existir entre la enseñanza de las ciencias y la historia de las ciencias enriquecida por la filosofía de las ciencias. La Filosofía de las Ciencias (FC), una disciplina emergente en el siglo XX, permite a la HC comprender de mejor manera las relaciones que se establecen entre las diversas acciones que confluyen en la actividad de 'hacer ciencia'. Recordemos la contribución brillante de Imre Lakatos, (1987) que afirmó que *la historia sin filosofía es ciega, la filosofía sin historia está vacía*. Esta relación entre la historia y filosofía de las ciencias (a partir de ahora, H&F de las C) y la enseñanza de las ciencias se ha concretado en prácticas docentes interesantes que se han divulgado en diferentes foros especializados de investigadores y profesores en el área. Vamos a enunciar algunas de ellas que, como veremos en el apartado siguiente, conectan con líneas de investigación que han tenido impacto en la Didactología.

La HC resulta importante al profesor de ciencias porque:

- Proporciona contextos a los conocimientos emergentes y saca a la luz aportes al conocimiento científico que no se han tenido en cuenta porque fueron desarrollados por colectivos poco relevantes (mujeres, por ejemplo) o fueron considerados erróneos o irrelevantes. Por ejemplo, Mrs. Marcet y su tarea de divulgación mediante libros para un público femenino o la lucha de Semmelweis para evitar las infecciones en la que resultó perdedor para su comunidad en ese momento (Solsona et al., 2013).

1 Estany et al. (2002) propusieron el nombre de 'Didactología como sinónimo de 'Didáctica' de las Ciencias' o Science Education para destacar que se trata de una 'ciencia del diseño de las acciones docentes'.

2 Imre Lakatos afirmó que la HC sin filosofía es ciega; la FC sin H está vacía (Lakatos, 1987)

- Sugiere preguntas desafiantes sobre la emergencia de las entidades científicas con las que hoy se explica el funcionamiento y estructura del mundo material (Átomo y moléculas, entre otras, Izquierdo-Aymerich et al, 2009).
- Permite reconocer las ideas de los estudiantes al interpretar los fenómenos, al descubrir que existe un cierto paralelismo entre ellas y las explicaciones que se dieron a estos mismos fenómenos en otros momentos históricos (Viennot, 1979, Driver et al., 1985).
- Ilustra la naturaleza de las ciencias (Nature of Science, NOS), al dejar en evidencia la complejidad de la actividad científica de las personas que se dedicaron a ella (Vallverdú et al., 2010).
- Invita a leer buenas historias en las que los científicos y científicas narran sus vivencias de 'hacer ciencia' y en las que reflejan lo que su tarea tiene de aventura intelectual (Project Physics, 1971).
- Inspira nuevas estrategias de presentar temas complejos (tales como la dramatización de eventos relevantes (por ejemplo, las obras teatrales 'Oxígeno' y 'Copenhague').

Lo analizaremos con más detalle posteriormente.

La HC proporciona contextos a la enseñanza de la Ciencia

¿Dónde y cómo se generó la ciencia? ¿Cómo se enunciaron las leyes?, ¿Cómo se formularon las teorías? Los profesores esperan de la H&F de la C de respuestas a estas preguntas.

Si consideramos que la actividad científica es adquirir conocimiento del mundo natural al descubrir, en sus fenómenos, pautas de comportamiento que permiten explicarlos y prever lo que sucederá, la Ciencia es una actividad muy antigua. No lo es tanto si se considera como intervención y transformación del mundo mediante instrumentos y metodologías experimentales. Sus objetivos y métodos han ido cambiando, pero podemos identificar en las personas e instituciones que se han dedicado a ella, una voluntad de relacionar los fenómenos concretos mediante explicaciones teóricas, formales, que se han mantenido a lo largo del tiempo gracias a la enseñanza. Esta dedicación ha sido valorada de manera diversa en distintas circunstancias, y algunos de sus artífices han recibido honores y riquezas, mientras que otros han sido perseguidos y han muerto en la miseria.

La Ciencia de la Antigüedad se dedicaba a estudiar lo natural, el Mundo, no a transformarlo, lo que correspondía a los artesanos. A partir de la Edad Moderna, la ciencia incorporó aspectos tecnológicos propios de las artesanías y los oficios. Lo que a partir de entonces fue denominándose ciencia, ya no es lo que el mundo antiguo pensaba, porque incluía un poder de transformación

del mundo que hizo arrogante al científico. El uso de instrumentos que medían y determinaban magnitudes (temperatura, calor, la masa inerte, masa química, fuerza, etc.) permitió reconstruir los fenómenos del mundo natural, transformados en números, según la lógica de la matemática. La configuración del mundo adquiría la forma que al científico le convenía para poder actuar en él. En el siglo XX los libros de ciencias ya no nos hablan de una 'historia natural', sino que vemos en ellos un mundo que puede 'medirse' gracias a instrumentos especialmente diseñados para ello, que se comporta ordenadamente y que se ha reconstruido según la lógica matemática siempre que esto era posible.

La H&F de la C puede ayudarnos a recuperar el interés por el mundo natural y por el proceso de formalizarlo. Esto es necesario debido a que los que empiezan a aprender ciencia no pueden acceder sin más a este mundo reconstruido o reconfigurado y a los científicos que ya no se interesan por el mundo natural tal como lo perciben sus alumnos jóvenes.

A partir del desarrollo de la sociología de la ciencia (SC) en la segunda mitad del siglo XX, fue posible una nueva mirada a la HC desde la perspectiva del trabajo real de los científicos: (i) de las demandas que les hacía la sociedad, (ii) de los recursos materiales que tenían o que resultaban de su trabajo, (iii) de sus motivaciones y (iv) de los itinerarios profesionales que desarrollaban en distintos contextos. La FC orientó entonces nuevos aspectos de actividad de los científicos; no sólo la justificación de las teorías mediante experimentos y viceversa, sino también la innovación tecnológica, la relación entre los conocimientos y sus aplicaciones y la enseñanza (Echeverría, 1995, pp. 58-66). Este último aspecto nos interesa de una manera especial para la formación de profesores, porque reconoce que la enseñanza es también actividad científica. Para quienes tienen un concepto elitista y prepotente *acerca y sobre la ciencia*, enseñar es algo secundario, un ejercicio que se repite año tras año, un trámite que sirve para seleccionar a los mejores alumnos y dejar fuera del circuito académico a los demás. Pero la historia contradice esta opinión y nos muestra su importancia, puesto que incluye la tarea de seleccionar los conocimientos y organizarlos para que, generación tras generación, perduren.

La H&F de la C puede ayudarnos a reconocer los diversos ambientes en los que se ha construido la ciencia. La dimensión docente que tuvo la actividad científica en todas las épocas nos interesa de manera especial; nos permite comprender que considerar el conocimiento como algo que se desarrolla plácidamente gracias a descubrimientos que conducen al progreso (palabra polémica en la propia historia de la ciencia) no es más que un 'retórica' utilizada a menudo en la enseñanza como recurso para dar sentido a lo que se explica en clase, de la que se han excluido ya los debates.

En el siglo XXI se ha puesto en evidencia la complejidad de la actividad científica, la diversidad de contextos en los cuales se desarrolla y los sistemas de valores con los cuales se evalúan las diferentes acciones en las que consiste

esta actividad. La H&F de la C puede ofrecernos ejemplos de cómo las personas se han enfrentado al mundo material en el cual viven y han ejercido su 'inteligencia creadora' para darle sentido transformándolo, de acuerdo con los valores de su época. Como contrapartida al relativismo que se podría deducir de esta afirmación, Marina (2005) destaca que la inteligencia creadora humana ha promovido valores compartidos que convergen en reconocer la dignidad de todas las personas que construyen conocimientos y lo comunican a otros. Nos proporciona argumentos valiosos para narrar historias interesantes (Bonet, 2005) que ayudan a dar significado al aspecto práctico de las entidades químicas y a la mediación de los instrumentos que se utilizaron y, en especial, al lenguaje (Jiménez, 2000).

En el momento actual, la relación dinámica entre el conocimiento y su contexto orienta la tarea de los historiadores de la ciencia y también la de los profesores. Estos últimos intentan generar ambientes de aula apropiados en los cuales tengan sentido los experimentos y los argumentos que proporcionan a los alumnos, conocimientos científicos fundamentales. He aquí una posibilidad de encuentro entre historiadores y profesores el cual, para tener éxito, requiere un diseño cuidadoso de las intervenciones docentes y del que hablaremos con más detalle.

Entre algunos ejemplos relevantes de mencionar están el de M. Faraday, un científico que 'pierde tiempo' con los niños; el de Jane Marcet, una ama de casa que escribía libros científicos de éxito unas veces sin firmar, otras con la firma de otros que se consideraban con derecho a no respetar sus derechos de autoría; el de Semmelweis, un médico que enloqueció de despecho al ser despreciados sus aportes científicos, que fueron aceptados poco tiempo después de su muerte, al ser enunciados por otros científicos mejor situados en las instituciones científicas oficialmente reconocidas. Y tantas y tantas historias más que aún esperan ser narradas pero que todavía se desconocen.

La H&F de la C muestra cuáles fueron las principales preguntas y cómo se pudieron intuir las respuestas, formuladas unas y otras mediante lenguajes y símbolos diversos

Podemos imaginar la ciencia a lo largo de la historia de maneras diversas: (i) como una biblioteca donde aparecen libros de ciencias ordenados cronológicamente; (ii) como una película donde personas ataviadas de manera pintoresca actúan de una determinada manera que podemos reconocer: recogen hierbas y piedras, machacan y destilan, visitan enfermos, curten pieles, dan clase con un sextante en la mano, dibujan cuerpos geométricos, miden; (iii) como una secuencia de sabios con túnicas, con pelucas, con levitas elegantes, que reciben honores y premios, que tienen estatuas en los lugares donde nacieron o murieron porque todos ellos 'descubrieron' alguna cosa importante (¿En cuál de estas imágenes tienen un lugar reconocido las mujeres? Dejemos ahora esta pregunta inoportuna para más adelante).

En cualquiera de estas imágenes subyace la idea de una serie de "personajes" y de acciones que *tienen que ver con conocer el mundo*. Es fácil que los profesores de ciencias, que enseñan lo que se considera la *buena ciencia* (es decir, la actual) piensen que sólo acertaron los que abrieron el camino hacia la ciencia de hoy. Porque es difícil comprender el significado de las explicaciones que hace siglos se dieron a fenómenos que ahora explicamos de manera muy diferente y con las teorías e instrumentos disponibles actualmente. Entidades como *flogisto*, *espíritu nitroaéreo, fuerza viva, mixto, sustancia, elemento…*, "han desaparecido" y ahora son otras las entidades que enseñamos: átomos, moléculas, fuerza, energía; y aunque las palabras 'sustancia' y 'elemento' se mantengan, ya no significan lo mismo. Sin embargo, y aquí viene la paradoja, sí que podemos identificar las preguntas que dieron lugar a estas entidades desaparecidas y que parecen mantenerse en las respuestas actuales. Si lo conseguimos, disponemos de "preguntas genuinas" en un contexto en el cual las respuestas actuales no están condicionadas por las respuestas que proporciona la ciencia actual sino son sugeridas por el propio fenómeno.

Esto tiene un gran valor para la enseñanza de las ciencias porque podemos proporcionar al alumnado una perspectiva de auténtico desafío intelectual que parta de 'aquello' que se preguntaron y que desencadenó la actividad científica que hizo posible la respuesta actual; nos gusta tanto la respuesta de ahora, la tenemos tan disponible, que la damos sin recordar qué es lo que la motivó originalmente. El reconocimiento de este importantísimo aporte de la HC a la enseñanza ha dado lugar a propuestas docentes muy valiosas, que hoy en día constituyen lecturas obligadas para quienes se interesen por este tema (Holton & Brush, 1973, Holton, 1988, 2001). Por ejemplo, las moléculas de la química ¿son simples partículas o son algo más? Y sus átomos, ¿tiene sentido que la naturaleza nos proporcione 92 tipos de ellos, que al menos debemos duplicar si pensamos en los isótopos? ¿Es lo mismo, un elemento y una sustancia simple? Y tantas y tantas preguntas más que los profesores de ciencias habitualmente manejamos en nuestro discurso profesional.

Permite interpretar las ideas de los estudiantes

Continuando con esta misma reflexión, podemos fijarnos además en las *preguntas perdidas*, que nunca tuvieron respuesta o tuvieron alguna que no fue enseñada y, así, formaron parte de una teoría que no perduró porque no encontró un 'nicho' en el cual pudieran desarrollarse sus conceptos propios. Pero estas preguntas y respuestas que ahora nos parecen equivocadas tuvieron su razón de ser en su momento y contexto, eran sensatas porque fueron interpretaciones plausibles de fenómenos que aún hoy son importantes. Las vemos reproducirse en las explicaciones espontáneas que proporcionan los alumnos o las personas que no se han formado en ciencias, que interpretan a su manera el mundo material en el cual viven.

El filósofo Bachelard (1934, 1938) dedicó una parte importante de su trabajo académico a divulgar los 'errores' a los cuales indujo habitualmente el trabajo experimental de los químicos del siglo XVII y XVIII (por ejemplo, la sustancialización de las propiedades de los 'mixtos') hasta el punto de dudar sistemáticamente de su eficacia en el proceso de construcción del conocimiento químico. Conocer a fondo esta etapa de la química (siglo XVI y XVII), anterior a Lavoisier pero ya universitaria, diferenciada de la medicina y de la física experimental, resulta de gran interés didáctico e histórico para comprender que las preguntas que guían a experimentación y las motivaciones y teorías que condicionan la intervención en los fenómenos son responsables de la interpretación de lo que pasa. Es decir, el experimento no 'habla' por sí solo.

La identificación de las ideas previas de los estudiantes y su impacto en el aprendizaje de las ciencias ha constituido una importante línea de investigación en didáctica de las ciencias. Viennot (1979) interpretó y caracterizó diversos errores en sus estudiantes poniendo de relieve que utilizaban el concepto renacentista de 'vis viva' para explicar el movimiento. Desde entonces han sido muchos los trabajos que han comparado las ideas espontáneas de los alumnos con las grandes ideas que fueron explicativas en otros momentos de la historia de la ciencia. Por ejemplo, según Sanmartí et al. (1995), un número significativo de los errores de los alumnos al estudiar el cambio químico se debía a la sustancialización de las propiedades, que fue una manera de explicar propia de la química precuantitativa. Driver et al (1985) se refieren a las interpretaciones *naives* de la combustión, en las cuales se reconocen las mismas ideas implícitas que formaban parte de la teoría del flogisto.

El impacto de los instrumentos en la construcción de explicaciones científicas es otra de las lecciones que la historia proporciona a los que consideran imprescindible conocer lo que piensan los alumnos para poder guiar sus aprendizaje. En la historia de la ciencia podemos 'ver' cuándo y por qué se inventaron, cómo se utilizaron y cómo se perfeccionaron; y los conceptos abstractos que surgieron debido a ellos y a los 'números' (magnitudes) que proporcionaron. Es importante considerar que lo que se medía y se construía con estos instrumentos no era lo que ahora nosotros suponemos que se hace con ellos. La representación teórica que tenían era otra y la acción del instrumento forma parte de ella. Los profesores pueden utilizarlos en clase de manera que orienten la atención del alumnado de forma adecuada según las teorías actuales; pero al conocer otras maneras e interpretarlos, tienen más recursos para guiar el aprendizaje de sus alumnos (Heering & Hotecke, 2014).

En este aspecto, la historia de la ciencia nos muestra la necesidad de dedicar tiempo a dar sentido a la intervención experimental y a los instrumentos materiales que se utilizan, algo que se olvida a menudo o se da por sabido, puesto que las acciones humanas se interpretan de manera espontánea según teorías que no son las científicas.

Ilustra la naturaleza de la ciencia (NOS)

La H&F de la C siempre transmite una determinada manera de considerar la ciencia; los episodios, biografías, reflexiones que nos ofrece han sido escogidos según esta perspectiva, que ha destacado a menudo el carácter experimental y objetivo del método científico y la 'verdad' de sus resultados.

La consideración de que la ciencia es un producto de la actividad humana, condicionada por el ambiente cultural, recursos y oportunidades propias de la sociedad y del momento histórico en el cual se desarrolla el trabajo (tal como la perspectiva sociológica que el estudio de la HC nos proporciona ahora), ha dado lugar a un interés creciente por identificar los rasgos propios de esta actividad, sin dejarse deslumbrar por la brillantez de la producción intelectual y de sus beneficios y aplicaciones. El estudio histórico de la práctica científica desde esta perspectiva social y humana ha 'naturalizado' la ciencia, bajándola del pedestal donde se la concibe habitualmente al suponerla objetiva, rigurosa, lógica, con capacidad para eliminar errores y, al ser difícil, reservada a unas pocas personas. En cambio, se ha puesto de relieve su carácter social, las motivaciones que la impulsan y los valores (diversos) que permiten evaluarla.

Son muchos y diversos los episodios históricos que pueden ser narrados según la retórica 'de racionalidad fuerte' de otras épocas (experimental, objetiva, de método científico) pero que se ven desde otra perspectiva al tener en cuenta estos nuevos factores y no sólo el producto intelectual que se ofrece a la comunidad científica. Se crea entonces un ambiente de debate, se admite que hubo lucha por el poder en las instituciones, interesan los regateos económicos y la disputa de valores que se produjeron en su momento**.** Los aportes de los expertos no son tan diáfanos como podría parecer y esto obliga a tener en cuenta una participación más activa de la ciudadanía en la producción científica de su momento.

La consecuencia de este 'giro praxeológico' (o sociológico) de la historia y filosofía de las ciencias es la necesidad de tener en cuenta los debates que se produjeron alrededor de una determinada innovación o descubrimiento científico y el enfoque CTS (ciencia, tecnología y la sociedad) que aporta datos referidos al impacto de los conocimientos y tecnologías de las ciencias en su contexto social más complejo.

El enfoque CTS enriquecido por la historia ha de tener en cuenta además el factor 'tiempo- época histórica' porque las acciones científicas se producen en contexto, en un lugar y entorno que son relevantes. Este enfoque es imprescindible para una docencia de calidad en el momento actual. Implica interdisciplinaridad y ética, y por ello incide de manera inequívoca en la educación de los estudiantes.

Por ejemplo, el debate que se produjo entre Pouchet y Pasteur en relación a la posible generación espontánea de la vida no aparece en la mayor parte de los

libros de texto, en los cuales sólo se destaca el aporte 'genial' de Pasteur gracias a su cuidadoso método experimental. Sin embargo, si este debate histórico se analiza, por ejemplo, mediante el modelo de dinámica científica de Vallverdú (2010), que ha estudiado el debate y lo ha aplicado a la formación de profesores, las pruebas experimentales y la actuación de un Pasteur triunfal frente a su oponente desconocido no aparecen ya tan diáfanas. Pouchet también trabajó de manera cuidadosa y precisa, y los factores que le condujeron a perder en el debate fueron otros.

Invita a leer buenas historias (Project Physics, Reader)

Las buenas historias que explica o sugiere la H&F de la C se presentan por escrito; requieren ser leídas. Existen diversas colecciones de narraciones, entre las cuales destaca el 'Project Physics Course'. El libro se presenta con estas palabras: *This is not a physics textbook. Rather, it is a physics reader, a collection of some of the best articles and book passages on physics. A few are on historic events in science, others contain some particularly memorable description of what physicist do: still others deal with philosophy of science, or with the impact of scientific thought on the imagination of the artist'. (pagV)*

Esta recopilación de textos originales, transcritos a los formatos y lenguajes actuales y de autores que han tenido impacto en la HC, es un trabajo magnífico del que han derivado nuevos enfoques de los cursos de Física universitarios en diversos países.

También es de gran interés la lectura de textos originales en ediciones facsímil, aunque resulten más difíciles de leer; esta dificultad puede ser un aliciente, debido a la emoción que comporta descifrar un texto escrito de manera poco clara. Puede ser que requiera una formación previa pero precisamente por ello resulta de un gran valor educativo. El lenguaje y el formato de los textos científicos antiguos, debido a sus características que los hacen 'raros' son estimulantes, sugerentes, transportan a otra época y a otros sistemas de valores y de maneras de trabajar; resultan misteriosos y suscitan el deseo de desentrañarlos. Permiten aproximarse, así, al entorno cultural y estético en el cual fueron originalmente redactados.

Esta forma de utilizar la historia ha sido considerada de interés para la formación de profesores de ciencias y no tanto a los alumnos no universitarios, pues sólo los que están muy motivados por un tema concreto se beneficiarán de ella (Simon et al.,1996).

Inspira nuevas maneras de presentar los temas

Si elaboramos un breve resumen de lo que se ha dicho hasta aquí, vemos que la respuesta al por qué de la historia de la ciencia en la enseñanza prioriza el acceso que proporciona a la actividad humana que tiene por objeto cons-

truir conocimiento, interviniendo en los fenómenos mediante instrumentos y cálculos de manera racional y razonable. Puesto que esta práctica a lo largo de los tiempos constituye una auténtica aventura protagonizada por agentes muy diversos (algunos reconocidos, otros aún por identificar) es muy difícil transmitirla a los alumnos en clases magistrales; se hace necesario hacer vivir algo de esta aventura, lo cual reclama inventiva de los profesores, que buscan nuevas maneras de comunicar para invitar a participar en la creación intelectual y práctica que llamamos ciencia, concretada en temas que quizás no corresponden a algunas de las disciplinas actuales.

La historia sugiere a los profesores (y les demanda) la creación de escenarios desafiantes, en los cuales actúen los agentes que participan en el episodio histórico que se ha escogido, de la manera que corresponde a la época y a las motivaciones que daban sentido a las preguntas y a los objetivos que se definieron. Por ejemplo, se pueden organizar lecturas en grupo, obras de teatro representativas, debates reconstruidos para hacerlos más ágiles o más comprensibles para los estudiantes.

La dimensión temporal que es propia de la historia puede inspirar también episodios del futuro; esta inclusión de la ficción en la ciencia (que puede incluso desembocar en 'ciencia ficción', quizás) es muy propia de esta relación entre H&F de la C y Enseñanza de las Ciencias (EC), porque siempre va a haber 'ficción' en la recreación de episodios antiguos para que nuestros alumnos aprendan más y mejor.

2. ¿Qué líneas de investigación se perfilan?

La investigación en didáctica de las ciencias tiene siempre un componente de innovación, puesto que la caracterizamos en su momento (Estany & Izquierdo-Aymerich, 2002) como 'ciencia que diseña actuaciones docentes' que tienen impacto en la escuela y la transforman moderadamente. La investigación que se basa en la Historia y Filosofía de la Ciencia tiene también esta característica; sus preguntas podría resumirse en ¿cómo hacer para enseñar de manera que los alumnos aprendan lo que deben aprender?' y las respuestas han de coincidir en un esquema general de Actividad Científica en la Escuela (ACE). Recordemos que en la Actividad Científica Escolar los contenidos a enseñar se estructuran en 'Modelos Teóricos' y sus finalidades tienen en cuenta los valores de la ciudadanía.

Por ello, los contenidos de esta Ciencia del Enseñar Ciencias que emerge de estas preguntas y respuestas (a la que hemos propuesto denominar 'Didactología'[3] según Estany & Izquierdo-Aymerich, 2002) se refieren en gran medida a las condiciones que hacen eficaz la enseñanza de las ciencias, identificadas a partir del análisis de acciones docentes reales en contextos específicos. Entre

3 Didáctica de las Ciencias en la comunidad latina y Science Education en la comunidad anglosajona

ellas podemos destacar, por su enorme importancia e impacto, la necesaria comunicación fluida y significativa entre profesores y alumnos y entre los mismos alumnos: todos los agentes que intervienen en el acto docente deben saber de lo que están hablando (aunque aceptando que este conocimiento puede ser diferente en todos ellos) y tener una motivación compartida para construir algo juntos: nuevos conocimientos, nuevas maneras de actuar.

Somos conscientes de estar viviendo una época histórica revolucionaria: la era digital, en la cual las comunicaciones entre las personas cambian de manera vertiginosa. Por ello, el sistema didáctico (SD) se enriquece con nuevos agentes que quizás aún no sabemos identificar, pero que ya se intuyen de manera suficiente para contar con ellos al preguntar cómo vincular la H&F de la Ciencia y la EC en el espacio educativo que le da cabida. Sin poder concretar mucho más todavía, tenemos la certeza de que se nos van a ofrecer nuevas oportunidades que enriquecerán nuestra tarea con nuevos logros y nuevas preguntas interesantes para los estudiantes.

Vamos a analizar en este apartado diversas reflexiones sobre cómo desarrollar actividades/ preguntas que podrían dar lugar a proyectos de investigación, algunas más teóricas y otras más prácticas. Tenemos en cuenta que nuestras preguntas de investigación están mediadas por nuestros requisitos de partida, que son compromisos teóricos y metodológicos sin los cuales nuestra docencia no tendría sentido. Esto es debido a que la Didáctica de las Ciencias (DC) diseña intervenciones docentes según la finalidad que se persigue: se actúa de una determinada manera (la mejor posible) porque se busca un determinado resultado.

Destacamos tres compromisos: (i) una enseñanza de la ciencias tan interdisciplinar como sea posible, (ii) un enfoque humanista de la enseñanza de las ciencias y un compromiso de futuro en el cual se ponga en juego el pensamiento crítico, y (iii) la percepción del respeto a las personas (también a nuestros alumnos). No olvidamos el 'Principio de incertidumbre didáctica' (PID) que, inspirados en Wittgenstein, formulamos de la manera siguiente: *'(Al enseñar) No es posible ser totalmente preciso y, a la vez, totalmente comprensible'*. Es decir, lo que 'enseñamos' no es todo lo que sabemos sino lo que nuestros alumnos pueden comprender. Veremos, en los ejemplos, cómo se concretan estos tres compromisos, que establecen la diferencia entre 'ser profesor que se inspira en la H&F' y ser investigador de esta práctica.

Reflexionemos sobre los contextos históricos en la enseñanza de las ciencias: la relación entre la historiografía y la didactología.

Los profesores de ciencias no son 'historiadores' por el hecho de utilizar la historia de la ciencia para disponer de recursos según las finalidades docentes diversas que acabamos de ver. Por ello, los profesores deberían respetar lo que

los historiadores consideren que es 'buena historia de las ciencias'. Pero como que la finalidad de los profesores es enseñar ciencias, las opiniones de unos y otros pueden no coincidir y se deberá llegar a acuerdos para construir lo que Fourez denomina 'un islote de racionalidad', a partir de lo que ambas disciplinas (la H&F de la C y la Didactología) consideran irrenunciable.

La HC es ahora una disciplina independiente de la ciencia a la que se refiere, con su propia teoría (historiografía) y, como ocurre en otras disciplinas, contempla de manera crítica lo que fue la HC de otros momentos históricos en los que se dependía exclusivamente de la disciplina de referencia sin tener en cuenta las perspectivas social, filosófica y lingüística que son ahora tan importantes para la formación y desarrollo del pensamiento. La crítica de los historiadores se refiere a dos 'desviaciones' importantes que podrían confundir a los profesores de ciencias: el anacronismo y la hagiografía.

Anacronismo es interpretar los eventos antiguos como si se produjeran en un entorno científico actual. Se considera, por ejemplo, que los aportes de Paracelsus (siglo XVI) fueron totalmente falsos y su teoría de las signaturas o semblanzas entre los síntomas de una enfermedad y las propiedades de los remedios que él proponía son juzgados con severidad y considerados estúpidos, sin tener en cuenta que él fue quien introdujo el método experimental en las ciencias (Jones, 1989). 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 su carencia, cuando sea así (Quintanilla et al, 2015).

La oposición al anacronismo reclama objetividad a la HC; es decir, contemplar la ciencia que se estaba haciendo en un determinado momento histórico de acuerdo a los valores del momento: con sus propias preguntas y sus métodos de respuesta, que no prefiguran los actuales.

La *hagiografía* consiste en escoger una figura histórica y concentrar en ella todos los méritos de los logros científicos de una época, como si no hubiera existido una comunidad científica que aportara sugerencias, preguntas y conocimientos relevantes; se le atribuyen también virtudes humanas que hacen que este personaje sea un modelo ejemplar a seguir. Es fácil acordar que ésta no es una buena HC; el problema es que la ciencia también necesita sus 'héroes y heroínas' para consolidar sus disciplinas.

Los didactólogos debemos consultar 'buena historia' que corresponda a los acuerdos de la historiografía del momento, sin anacronismo ni hagiografía. Pero ¿es esto posible? Y, si lo fuera ¿nos conviene? Aquí es donde debemos introducir nuestros matices. Podría ocurrir que una HC que se refiera sólo a un determinado momento histórico (según una correcta visión diacrónica de la

historia) no nos aporte nada interesante para la enseñanza de la ciencia actual; e incluso que no sea posible una H&F de la C totalmente objetiva.

Kragh (1989) 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. Siendo así, si la historia positivista estrictamente diacrónica no es posible, podríamos considerar que la historia que nos conviene es la que nos aporta algo de interés en el momento presente; es decir, nos permite tener una visión '*presentista*' de la historia pero sin llegar al extremo de suponer que la historia en sí no es interesante y sólo lo es su reconstrucción, que será probablemente subjetiva porque pretende 'dar vida' a situaciones pretéritas al intentar hacerlas revivir en uno mismo o en los alumnos.

Bachelard (1993) propuso el término 'historia recurrente' o 'historia sancionada' para referirse 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 comprender el pasado como un desarrollo contínuo 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. Pero 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. Aún más grave, a presentar la ciencia como un proceso que avanza sin cesar, dejando de lado las supuestas desviaciones de este paseo triunfal. Puede parecer, erróneamente, que los conceptos del pasado tienen relación directa o son los mismos que los actuales, aunque en una etapa menos desarrollada; haciéndolo así, se pierde la ocasión de comprender bien las relaciones entre las ciencias y la cultura.

Por ejemplo, cuando Harvey imaginó la circulación de la sangre sólo le apoyaron los místicos y alquimistas, mientras que el atomista Gassendi se opuso a ella.

Sin embargo, es importante destacar que los conocimientos actuales permiten analizar los conocimientos históricos de una manera que sería imposible desde una postura diacrónica estricta, puesto que se pueden estudiar relaciones entre conocimientos que no tuvieron lugar durante la historia de vida de un científico en particular; o simplemente hacer ver similitudes entre las obras de científicos de épocas diversas, lo que hubiera sido imposible en vida de ellos. Todo ello, da lugar a 'reconstrucciones' que sin haberse generado en el pasado, constituyen una interpretación seria del mismo, de gran interés y valor para la enseñanza de las ciencias así como para la formación de profesores.

Así pues, si bien es legítimo que los profesores hablen en clase de algunos 'héroes' de las disciplinas, es deseable que lo hagan teniendo en cuenta el conjunto de aportes científicos en su época. Si han de plantear determinadas preguntas problematizadoras y enfoques adecuados a la docencia, se ha de

procurar tener una base historiográfica seria 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 evitando determinadas preguntas o hipótesis que la historia quizás no puede ni debe responder pero que pueden tener interés docente.

En resumen, la historia que se utiliza en DC ha de ser la historia que surge del trabajo de los historiadores, procurando no incurrir en el anacronismo y la hagiografía pero sin dejar de reconocer que lo que buscamos en la historia de la ciencia cuando enseñamos ciencias requiere que reconstruyamos sus episodios de la manera que nos resulte adecuada para las clases. Con ello se abre una línea de investigación sobre la confluencia entre HC y DC que ha de considerar el interés didáctico de una buena historia y la seducción de una biografía que no sea exageradamente mentirosa.

Reflexionemos sobre la naturaleza de la ciencias y las buenas preguntas 'disciplinares' e 'interdisciplinares' en la educación para todos/as

En el momento actual muchos gobiernos pretenden que toda la población tenga una adecuada formación en ciencias y, por razones prácticas, esta formación ha de ser interdisciplinar, mostrando sus vinculaciones con la sociedad. Sin embargo, los profesores se han formado según las actuales disciplinas universitarias y ninguna de ellas proporciona unos conocimientos integrados que puedan aplicarse a todos los fenómenos del mundo natural y que, además se presente vinculada a intereses sociales y no a los laboratorios y centros de investigación. Por esto es tan difícil construir esta 'ciencia para todos/as' que debería ser la base para una posterior especialización.

Como hemos visto, esperamos que sea la HC la disciplina que nos ayude a identificar 'preguntas fundadoras' y a comprender la NOS.

Hemos visto que la HC nos proporciona preguntas primigenias que justifican la existencia de los diferentes enfoques disciplinares. Gracias a ellos, disponemos ahora de un importante bagaje conceptual para intervenir en los fenómenos e interpretarlos. Según Nye, (1999) las disciplinas[4] se estructuran alrededor de fenómenos ejemplares que ejercen la función de 'Modelo Teórico', con argumentaciones prototípicas que los explican, textos y manuales que los divulgan y héroes que encarnan el tipo de actividad que consideran más representativa. Nos muestra una actividad científica que se organiza de maneras diferentes, vinculando con dificultad la especialización práctica, artesanal y el razonamiento multivalente lógico; y queremos resaltar esta naturaleza interdisciplinar de la actividad científica en nuestra enseñanza.

4 El nacimiento de las actuales disciplinas se vislumbra a lo largo de los siglos XVIII y XIX, en muchos casos debido a un acercamiento entre la práctica artesanal y el pensamiento teórico.

También esperamos que la HC nos muestre relaciones entre la ciencia y la sociedad que nos pasan quizás desapercibidas en la ciencia actual y que se consideran interesantes, propias de un sistema didáctico. Para hacerlo de manera pertinente, deberíamos tener un conocimiento amplio de la historia social de la ciencia. En esta creación de escenarios para episodios que tuvieron lugar en el pasado, debe tenerse en cuenta que las disciplinas eran diferentes, o incluso inexistentes en las épocas que se analizan. La estricta separación entre las diferentes materias de los currículos pierde sentido a la luz de la historia de la ciencia.

En resumen, nos encontramos tensionados entre lo disciplinar y lo interdisciplinar, y para resolver esta tensión deberemos construir un 'islote de racionalidad', pactando con los historiadores (los de la ciencia y los humanistas/ sociólogos) y los profesores de diferentes disciplinas, lo que unos y otros consideramos indispensable de enseñar.

Queda así definida y abierta una línea de investigación sobre las condiciones que la sociedad impone al desarrollo de la ciencia y la enseñanza: sus instituciones de formación y de evaluación, las recompensas, honores, logros económicos de las personas que se dedican a ella, los valores de los que se hace gala en la enseñanza y en la investigación, los libros que se escribieron y los públicos que los leen.

Reflexionemos sobre la evolución de los conceptos al resolver problemas de la ciencia

La historia de las ciencias nos muestra la diversidad de explicaciones que se dieron a fenómenos que nos parecen los mismos que los que hoy nos interesan: la combustión, las máquinas, la energía, la clasificación de las plantas, la identificación de enfermedades. Hoy día estas explicaciones pueden parecer falsas (de manera anacrónica) pero ya hemos visto que nos resultan útiles porque concuerdan con las explicaciones espontáneas de los alumnos o de las personas que nunca aprendieron ciencias.

Ahora la investigación nos propone la pregunta ¿cómo se generan y cómo evolucionan estas ideas, estos conceptos? Toulmin (1972) considera que los conceptos se generan y evolucionan al resolver problemas y coincide en este enfoque con otros historiadores y filósofos de la ciencia. Nos parece muy interesante su reflexión, que surge del análisis de la H&F de la C, pues propone una ecología conceptual para dar razón de las mutaciones conceptuales que se producen y de las que perduran de una generación a la otra; por su interés para la enseñanza merece que nos detengamos en ella.

Hemos supuesto, a lo largo de este capítulo, que el conocimiento se genera a partir de preguntas que han de ser genuinas. Toulmin concreta estas preguntas en problemas que define como 'percepción de un desajuste entre el cono-

cimiento actual y el que daría una solución al problema'. La solución a este problema comporta una mutación o variabilidad conceptual que se consolida si encuentra un 'nicho' que permite que los nuevos conceptos se consoliden y sean enseñados a la siguiente generación.

Estas situaciones problemáticas que generan conocimiento científico cuando se solucionan son las siguientes: (i) conseguir aplicar nuestros procedimientos explicativos a nuevos fenómenos, (ii) poder dar mejores explicaciones a fenómenos que aún no se comprenden bien (iii) integrar diferentes técnicas de una misma disciplina que aparecen inconexas (iv) integrar técnicas e ideas de disciplinas diferentes y (v) resolver conflictos entre ideas científicas y extra-científicas.

Todo concepto científico tiene tres dimensiones distinguibles: lenguaje, representación y acción regulada; por lo tanto, las variaciones conceptuales que son necesarias para resolver los problemas pueden corresponder a cambios en cualquiera de estos aspectos o a todos a la vez. Es decir, los cinco tipos de problemas pueden resolverse refinando el lenguaje, la representación teórica o la práctica experimental. Así pues, Toulmin identifica en la historia quince situaciones susceptibles de generar variabilidad conceptual (cinco tipos de problemas y tres maneras de resolver cada uno de ellos). Con ello identifica tanto la evolución de algunos conceptos como las interrupciones que hacen desaparecer a algunos o que muestran como otros de ajustan entre sí para generar otros conceptos nuevos. (Estany & Izquierdo-Aymerich, 1991) según un mecanismo de 'ecología conceptual' en el cual los nuevos conceptos compiten entre ellos: sólo algunos van a perdurar en un nuevo 'nicho conceptual'.

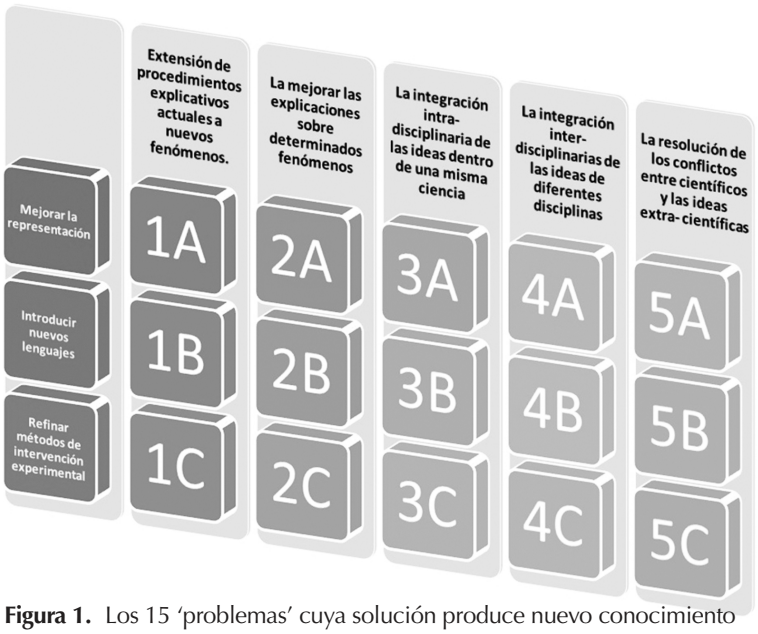


Figura 1. Los 15 'problemas' cuya solución produce nuevo conocimiento

Estas ideas de Toulmin, que interpreta así lo que 've' en la historia, se ajustan a otras afirmaciones propias de la DC según las cuales el desarrollo cognitivo se produce al comunicar, al pensar y al hacer. Pero les incorpora la dimensión temporal que, aplicada a la educación, permitiría a los alumnos concebir su aprendizaje a lo largo de los cursos escolares (y más allá) como un proceso de desarrollo y competencia entre conceptos en un ambiente cultural concreto.

Esta 'resonancia' tiene una gran importancia, tanto teórica como práctica. Permite representar tanto la consolidación de las disciplinas (problemas A, B y C) como la fertilización cruzada entre una diversidad de ellas (problemas D), así como la emergencia de otras nuevas a partir de demandas sociales (problemas E). Es decir, aporta ideas para comprender como se forman, se desarrollan y permanecen los conocimientos disciplinares en el tiempo, permitiendo comprender también cómo y por qué pueden transformarse las disciplinas en el futuro. Algunos problemas científicos escolares que se podrían proponer según la teoría descrita anteriormente se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Problemas científicos escolares de acuerdo con la tipología de Toulmin.

Tipología	Problema científico escolar
1C	¿Qué instrumento o metodología científica propondrías para explicar la identificación de una sustancia química en una célula?
1B	¿Qué instrumentos de medición específico utilizarías para explicar el fenómeno de la purificación de una sustancia radiactiva?
2A	¿Qué modelo teórico propondrías para mejorar las explicaciones sobre el intercambio iónico a través de membranas semipermeables?
3A	Cómo explicarías la 'electricidad' y la 'vida', desde la bioquímica ampliando el significado de oxidar y reducir

Queda abierta así una línea de investigación sobre el desarrollo de los conceptos en la historia, que proporciona modelos para analizar el desarrollo de los conceptos en los alumnos. El estudio de los apuntes de laboratorio de científicos y de alumnos, la identificación de problemas resueltos en los artículos y libros, la representación de la trama conceptual en un momento dado… son propuestas de investigación de las que hay ejemplos valiosos y significativos (Gooding, 1992).

Reflexionemos sobre el lenguaje, como sistema semiótico con una función sintáctica, semántica y retórica

Hemos visto que la H&F de la C invita a leer (conocemos gran parte del pasado gracias a los textos que quedaron) y que la lectura de textos antiguos puede ser la puerta que abra el interés de los alumnos por otras maneras de decir y de hacer al intervenir en el mundo natural. Para esto se ha de aprender a leer de

manera hermenéutica, es decir, releyendo tantas veces como sea necesario para llegar a comprender lo que el texto comunica, a través de su contenido, sintaxis y formato. Con ello se nos descubre una panorámica insospechada: diversas maneras de referirse a unos fenómenos que aún ahora podemos identificar, tales como las partes de un organismo, las llamas, las explosiones, el proceso de obtención, bien detallado e identificable de una sustancia bien caracterizada; o una misma explicación (el flogisto) para fenómenos diversos, presentación y defensa de los temas que plantearon preguntas según retóricas diferentes, símbolos diversos que generan entidades desconocidas. Situaciones, eventos, objetos que nos parecían conocidos y bien caracterizados se nos presentan ahora desde una nueva perspectiva, y podemos comprender las preguntas que suscitan, la parcialidad de las explicaciones que reciben, las conexiones que se establecen con otros fenómenos y que han quedado pendientes en la historia de la ciencia.

Con esto, la HC nos regala una puerta de entrada a la lingüística 'para todos/as': a pesar de no tener una gran formación en ella, nos damos cuenta que el lenguaje no es un instrumento para 'decir' algo que está ahí, sino que interviene de manera activa y problemática para configurar 'esto que está ahí' de manera inteligible.

Queda abierta una línea de investigación sobre el carácter constructivo del lenguaje, que genera 'signos' de algo que aún no existe y que, con ello, contribuye a hacerlo real.

Reflexionemos sobre la evaluación

Hemos de saber evaluar tanto la historia que escogemos (que ha de ser 'buena' según los historiadores de la ciencia) como las propuestas docentes que utilizan la historia. La elaboración y validación de pautas para facilitar este análisis es un proyecto de investigación urgente (Quintanilla, 2006).

Ya hemos indicado que uno de los principales aportes de la HC es darnos a conocer la actividad humana que conduce a la construcción de conocimiento en su contexto y, por lo tanto, con unos determinados criterios para saber si se hace de manera adecuada o no. Siguiendo a Echeverría (2002), un episodio de la historia se puede narrar siguiendo una determinada pauta: una persona (o grupo) hace algo con una finalidad, con unos recursos, según un método, en un determinado lugar, según unas reglas científicas, técnicas, sociales y unos requisitos epistémicos.

Lo que se busca con ello es conectar con los valores que permiten evaluar una acción y para ello, siguiendo a Echeverría (2002), tanto un episodio de la historia como una actividad experimental en el laboratorio pueden dar lugar a una 'historia' como la siguiente:

El agente X1 hace X2 (X3) a X4 con X5 en X6 en condiciones X7 para (con el fin de) X8 según X9 con el resultado X 10. X2 es el verbo que significa la acción, X3 es un complemento directo (lo que se hace) X4 indica a quien se aplica la acción, X5 son los instrumentos, X6 el contexto, X7 las condiciones en las cuales se lleva a cabo la acción, X8 las intenciones o finalidades, X9 las reglas científico técnicas a las que debe ajustarse la acción y X10 los valores epistémicos que conforman la acción y que permiten valorarla.

Cada una de estas acciones será considerada apropiada o inapropiada según sistemas de valores que se acoplan entre sí de acuerdo con una ideología (compartida o no con otras personas o grupos); el modelo de ciencia que emerge así se basa en una racionalidad (moderada) que es valorativa y deliberativa. Este mundo tan ordenado que nos mostraba la ciencia de principios del siglo XX sirve sólo para lo que sirve, de acuerdo con unos determinados valores; el conocimiento de la ciencia es más que esto. Desde esta perspectiva, las contribuciones de las mujeres, por ejemplo, se hacen visibles o, como mínimo, puede comprenderse por qué no aparecen en la historia 'oficial' aunque estuvieron participando en ella; y también encuentran su lugar los episodios de marginación y aportes de diversas personas que no pudieron reproducirse porque nunca fueron enseñados, encuentran así su lugar en la historia.

Una vez explicada así una actividad científica es fácil admitir que si alguien *hace algo*, es porque algunas expectativas propias le orientan a ello; si lo hace en un lugar, de una manera determinada y con unos instrumentos concretos, es porque sigue determinadas reglas del juego (y lenguajes) que considera las más adecuadas. El modelo de ciencia así descrito, propone un proceso en el cual cada una de las etapas busca la satisfacción de determinados valores; la pluralidad de valores que impulsan la creación científica se hace evidente y con ello, se contribuye a desarrollarla en clase, si cada cual se identifica con lo que quiere y puede llegar a hacer.

La Historia de las Ciencias, considerada desde esta perspectiva, aporta muchos ejemplos y permite narrar historias interesantes (Bonet, 2005) que ayudan a dar significado al aspecto práctico de las entidades químicas. El resultado directo de este enfoque ha sido la atención a los instrumentos científicos y a las instituciones donde se desarrolló la actividad, desde el punto de vista de los sistemas de valores que hacen posible su evaluación.

Queda abierta una línea de investigación sobre la evaluación, que requiere identificar los valores adecuados para justificar los juicios que se hacen sobre acciones (explicaciones, experimentos, intervenciones administrativa o académicas, negocios) que van a ser considerarlas pertinentes o no. Si bien muchos de estos valores cambian con el tiempo, quizá algunos se mantienen. Esta línea de investigación confluye con la investigación didáctica sobre 'enseñanza en contexto'.

3. ¿Qué aporta la H&F de la C al diseño de Unidades Didácticas? La reconstrucción didáctica de los episodios históricos

Hemos visto hasta ahora demandas que se le hacen a la H&F de la C desde la DC y las líneas de investigación que estas demandas generan. En este apartado veremos cómo estas demandas y estas líneas de investigación nos permiten comprender mejor el diseño de unidades didácticas (UD) para el aprendizaje de la ciencia haciendo énfasis en su dimensión histórica. Estas UDs deben considerarse multidisciplinares, puesto que su finalidad es aprender ciencia y también aprender HC. Con ello, presentamos una nueva línea de investigación: la que analiza el diseño de Unidades Docentes fundamentado de manera teórica, que, en nuestro caso, ha de tener en cuenta tanto a la historiografía como a la didactología.

El conocimiento se diseña para que sea útil y utilizable, es decir, sirve para algo y tiene valor, no aparece sin más porque ya estaba en alguna parte, no proporciona una información irrelevante. Perkins (1989) nos dice que el conocimiento diseñado, responde a cuatro características: (i) tiene una *finalidad* (un problema que debe resolver) que le da sentido, (ii) *requiere estructurar lo que se piensa y lo que se hace* para resolver el problema y para ello, debe conectar con el conocimiento estructurado de que ya se dispone (iii) *se apoya en otros problemas semejantes* que fueron resueltos, (iv) *se puede argumentar* por qué se da por adecuada la respuesta, cuando finalmente se dispone de ella. En nuestro diseño de UDs útiles para aprender tenemos en cuenta estas características; el problema es didáctico, pues se trata de enseñar ciencias con HC para desarrollar competencias de pensamiento científico; el conocimiento teórico y práctico que se ha de activar es interdisciplinar; los ejemplos a los que se recurre se van a convertir en procesos de aprendizaje 'modelizadores', y la argumentación tiene una dimensión autorreguladora: ha de permitir que el alumno/a tome conciencia de su 'historia de la ciencia', de cómo aquellos episodios concretos le han ayudado a aprender ciencias.

La finalidad da significado a nuestra acción docente. Por ello es tan difícil comparar resultados y establecer estándares, porque dependen de los valores que se priorizan según sea el tipo de persona y de sociedad que estamos queriendo construir para el futuro. No es éste el tema ahora, pero está ahí, condicionando todo lo que se va a decir a continuación, porque nuestra opción está clara: *educamos para la autonomía, la libertad y la dignidad de las personas y para la solidaridad entre ellas en una sociedad justa; educamos para que los derechos humanos lo sean de verdad en todo el planeta*.

Dicho esto, vamos a centrarnos en el *contenido* de las propuestas docentes y en el *proceso* a seguir por parte de los alumnos, que han de estar estrechamente relacionados entre sí. No podemos referirnos a un debate científico, por ejemplo, sin comprender el tema sobre el cual se debate. Esta simbiosis se consigue mediante la *'modelización'*, tanto al *diseñar* las unidades didácticas como en

la estrategia docente que se sigue en su implementación. Para ello se necesitan preguntas genuinas que desencadenen conceptos emergentes, hechos ejemplares (que pueden ser biografías), capacidad de narrar y de identificar 'narraciones' y sus ideas de 'alto nivel', comprensión y generación de lenguajes simbólicos, criterios para la identificación de los sistemas de valores con los que se evalúan y se han evaluado las producciones científicas (Vallverdú, 2002).

La investigación en H&F de la C contribuye a superar algunos problemas que dificultan las diferentes etapas del proceso de modelización:

- El problema de encontrar 'buenas preguntas'

  La fortaleza y, a la vez, la debilidad, de las propuestas docentes magistrales es la ausencia de preguntas interesantes y valiosas: el fenómeno y su explicación encajan a la perfección, puesto que no se habla de la complejidad del mundo real. De esta manera parece que se aprende deprisa y se tiene la satisfacción de entender por qué pasa lo que pasa en el aula y en la propia historia de las ciencias. El problema es que esta manera de enseñar no prepara para actuar ni intervenir en el mundo, puesto que el laboratorio no es el mundo real ni las ciencias son sólo lógica matemática. Por ello proponemos ahora una enseñanza diferente; sin abandonar del todo lo magistral, dedicamos tiempo a formular las 'preguntas' a las cuales se responde, sin decirlo de manera explícita, en la enseñanza magistral. Pero no es fácil identificar estas preguntas (que pueden ser teóricas o prácticas) y la HC nos ayuda a conseguirlo de una forma razonable y contextualizada.

  Por ejemplo ¿de qué dependen las propiedades químicas? He aquí una gran pregunta que tiene sentido y valor. Sin haberla formulado, las construcciones teóricas de la química no pueden comprenderse. Las explicaciones se han referido tanto a la estructura de los materiales que interaccionan como a los átomos que los constituyen. Se ha dedicado tiempo y esfuerzos a relacionar estos dos aspectos, con entidades como la afinidad, los equivalentes, las valencias… que ahora ya no se tienen en cuenta. No vamos a complicar a los alumnos con este periplo histórico; pero sí que debemos hacerles 'vivir' con ejemplos adecuados esta pregunta que los profesores 'vemos' en la historia y que reconocemos como algo crucial, recurrente, que da sentido a las explicaciones actuales sin que la pregunta haya desaparecido

- La elección y construcción de Hechos Ejemplares, según un proceso narrativo.

  Las buenas preguntas, al ser genuinas, hacen que la respuesta sea útil, aplicable y que se pueda relacionar con otras preguntas y respuestas; por ello, se han de fundamentar en un 'conocimiento estructurado' que llamamos 'Modelo Teórico'. Este 'Modelo' lo es de acciones científicas relacionadas con episodios relevantes en la historia de la ciencia, que se han interpretado

y comunicado con el lenguaje adecuado para analizarlas y recordarlas. Los episodios generados a partir de estas preguntas se han convertido así en hechos ejemplares que sirven de modelo para otros.

Si nuestra tarea fuera 'enseñar HC' o 'enseñar C' deberíamos ocuparnos de suscitar preguntas e identificar 'Modelos Teóricos' / Hechos Ejemplares de estas dos disciplinas adecuados para la clase. Pero lo que queremos es enseñar ciencias desde una perspectiva humana y social, con la ayuda de la H&F de la C; si queremos enseñar, a la vez, ciencia e historia, nuestros 'episodios' son 'historias de la Historia de la actividad científica' que se interpretan según "reglas didácticas" (RD) y, a la vez, según "reglas históricas" (RH). Requieren, como hemos visto, haber creado un 'islote de racionalidad' interdisciplinar, para poder contemplar un mismo hecho desde dos perspectivas diferentes.

El 'hecho histórico' que vayamos a escoger no ha de ser explicado de manera anacrónica, pero siempre será una reconstrucción de algo que pasó en una época determinada y en unas circunstancias concretas. Nos narra algún aspecto relevante de la actividad científica: sobre conceptos y problemas, sobre maneras de hacer, sobre lenguajes que parecen relevantes al historiador. Pero ahora debemos reconstruirlo con una finalidad didáctica; la historia de la que nos ocupamos ha de tener interés para el aprendizaje de nuestros alumnos de conceptos, de maneras de actuar y de nuevos lenguajes.

¿Cómo hacerlo? No es fácil, por lo que acabamos de decir. Por ello, no hay una única respuesta, pero sí que tenemos ejemplos prometedores.

Vamos a suponer que nuestra UD tiene la finalidad de recrear una época de emergencia de un nuevo modelo de átomo, en un momento histórico en el cual este átomo aún de existencia dudosa para algunos empezaba a parecer menos estable de lo que los químicos que creían en él habían dado por supuesto (a principios del siglo XX). El objetivo didáctico de la UD es hacer ver la complejidad de esta entidad (el átomo de los elementos) que Mendeleiev había relacionado con su ley periódica. Podemos tomar, como episodio, la entrevista entre el matrimonio Curie y Mendeleiev, que deberemos elaborar generando un 'islote de racionalidad'. Para ello, nos preguntamos: ¿Qué van a aprender de historia nuestros alumnos, mediante este episodio? ¿Qué van a aprender de ciencias? En los libros podemos encontrar respuestas a estas preguntas por separado; a partir de lo que nos dicen, escogemos lo que nos parece irrenunciable, básico. Y, entonces, podemos imaginar y explicar nuestra propia historia, la que nos parece relevante para la clase. Nadie estuvo en esta entrevista ni tenemos un acta de lo que allí sucedió. Nuestra historia puede destacar: la importancia (y sencillez) de ambos científicos, la novedad de sus aportes aunque parecían contradecirse, la angustia de Mendeleiev y la seguridad de los Curie en sus átomos perecederos y la posibilidad de poder

explicar mejor el origen de las propiedades de las sustancias. Sea cual sea la elección, lo que escojamos de este episodio histórico y lo que escojamos de ciencias para construir nuestro 'islote de racionalidad' ha de dar lugar a una historia bonita, coherente, interesante e iluminadora, que no introduzca errores históricos a pesar de ser fruto de la imaginación.

- El desarrollo de diferentes retóricas (argumentaciones) para convencer, estrategias para comunicar y criterios para evaluar.

  La enseñanza magistral de las ciencias ha abusado de la retórica que mostraba las 'verdades' científicas como resultado del pensamiento racional de los científicos. Desde nuestra perspectiva praxeológica, que la actual H&F de la C favorece, nos interesa poner de manifiesto que esta racionalidad es 'moderada' identificando maneras de argumentar, de razonar, de representar, propias de diferentes épocas; y recrear debates y polémicas para que los alumnos aprendan y para que interpreten críticamente lo que aprenden. Nuestras UDs interdisciplinares han de aprovechar lo que el episodio histórico escogido puede aportar desde el punto de vista retórico, teniendo en cuenta la diversidad de recursos de que disponen los alumnos nacidos ya en la era digital.

  No menos importante es la invención de lenguajes simbólicos para concretar nuevas ideas. ¿Cómo se representaba sobre el papel la rotura del átomo de Uranio, por ejemplo? ¿Cómo lo harían los alumnos? ¿Qué es lo que deberían representar?

  En la misma línea los estudiantes deben finalizar narrando ellos mismos algo de la historia sobre la que han estado trabajando durante la clase. La pequeña parte de la vida de Marie Curie y de Dimitri Mendeleiev que se les dio a conocer estaba relacionada con un problema científico real, que se resolvió en aquella época. Los estudiantes han de poder identificar tanto el problema científico como argumentar que la solución es razonable.

  A partir de estas reflexiones se puede construir un instrumento de evaluación de la inclusión de la HC en la EC con el cual el profesor puede revisar sus criterios historiográficos y evitar imprecisiones que podrían desorientar a los estudiantes. De todas maneras, va a explicar la historia de la forma que más le conviene y nunca será 'toda la verdad y nada más que la verdad' sino que ayudará a sus alumnos a plantearse preguntas y a evitar una imagen de la ciencia excesivamente triunfalista, con poco espacio a la creatividad y sin futuro para ellos que se encuentran aún muy lejos de ser científicos.

  El instrumento elaborado por Quintanilla, 2006, consiste en un cuestionario de 15 afirmaciones donde los profesores han de seleccionar una de tres opciones de que se definen en la pauta para cada una de ellas: se ajusta mucho (SM), poco (SP), nada (SN). Se cuenta además con un segmento para

argumentar, si lo desean, la selección de sus preguntas. Con él se han analizado ya episodios históricos en libros de texto.

- Percepción de que aprender ciencia requiere hacer ciencia.

  Una UD que reflexiona sobre la dimensión temporal del conocimiento debería facilitar que los alumnos se comprometieran con su futuro y, para ello, con su actividad actual en la escuela, la ciencia. ¿Seremos capaces de vivir juntos, profesores y alumnos, nuestra propia HC? Porque también los profesores viven su propia historia, sus conocimientos se desarrollan también a medida que se genera actividad científica en las aulas. Para ello debemos poner en práctica todas las dimensiones del conocer que hemos ido viendo: las buenas preguntas, los problemas resueltos, los discursos y los signos de comunicación, los valores, las finalidades de la inteligencia creadora; y, en especial, la capacidad de evaluar las decisiones que se toman.

4. Un caso para analizar: la aventura de calcular las masas atómicas de los elementos

Los libros de texto para los alumnos de secundaria presentan la teoría atómica de Dalton como si fuera eso, es decir, una teoría sobre los átomos que posteriormente (¡un siglo después!) otros científicos (Thomson, Bohr, Heisenberg, Schrödinger…) irían perfeccionando. La radioactividad, que permite algo así como 'contar átomos' y modernos aparatos como el espectrómetro de masas que parece que 'pesa' átomos proporcionan evidencias de su existencia . Y con ello, los átomos se convierten en los protagonistas de la química, sus entidades privilegiadas (y no las substancias reales), portadores de las propiedades que justifican las interacciones entre las substancias (que quedan ya 'derivadas' de estas propiedades y pierden así su 'misterio'.

Pero esta simplificación tan enorme, si bien permite comprimir mucha teoría química en pocas páginas (en los manuales) desorienta a los alumnos y, de hecho, los engaña: los átomos reales son inalcanzables y lo que sabemos de ellos se intuyó y se inventó gracias a las preguntas que se formulan al 'hacer química', al querer gestionar, comprender y relacionar los cambios químicos lo mejor posible.

La historia nos cuenta una versión muy diferente, mucho más interesante y que deberíamos rescatar para formar a los profesores de química. La tarea de relacionar las masas de interacción de los elementos para dar lugar a fórmulas fue ingente y creativa, requirió pericia experimental e imaginación; gracias a ella a final del siglo XIX, antes de que empezaran a llamar la atención las 'radiaciones' la química ya disponía de átomos de los elementos con masa propia y con propiedades abstractas; no fue necesario, para ello, conocer su compleja estructura interna (tan poco 'racional'). Al contrario, a medida que se acumulaban evidencias de la existencia de partículas subatómicas, los científicos tenían el reto de acomodarlas en el átomo de los químicos, aunque el resultado pare-

ciera poco "racional" como proponer un núcleo minúsculo con toda la masa del átomo y unos electrones sin casi masa pero con casi todo el volumen del átomo; y esto en una partícula tan alejada de la experimentación real como nos indica el 'número de Avogadro', tan grande que cuesta imaginarlo.

Procedemos pues a mostrar un ejemplo de la manera de trabajar de los químicos que iban construyendo una química cuantitativa y su lenguaje propio. Empecemos por presentar de manera resumida el aporte de J. Dalton y el camino que, a partir de ella, abrieron algunos de sus contemporáneos.

La propuesta de J. Dalton

J. Dalton, metereólogo y profesor de ciencias nacido en Manchester, ciudad en la que vivió toda su vida, era seguidor de las ideas de Newton en química. Por lo tanto, imaginaba la materia formada por partículas tal como Newton había propuesto en la cuestión 31 de 'Óptica' (pag 345)[5]'…*Me parece muy probable que Dios haya creado desde el comienzo la materia en forma de partículas sólidas, masivas, duras, impenetrables y móviles, con tales tamaños y figuras, con tales otras propiedades y en una proporción tal al espacio que resulten lo más apropiadas al fin para el que fueron creadas…'* Según Newton, algunas de ellas eran simples e indivisibles (podían considerarse 'átomos') y éstas podían unirse formando otras mayores y más complejas, que podían dividirse de nuevo.

Dalton imaginaba así la estructura interna de las sustancias químicas; en el caso de los gases, suponía que las partículas estaban rodeadas por una atmósfera de 'calórico' (uno de los elementos de Lavoisier) estructurada de manera diferente para cada gas y por ello se mantenían alejadas unas de otras.

En su época los científicos valoraban el uso de instrumentos que permitían 'cuantificar' las interacciones (los cambios) que se producían en la naturaleza o en los laboratorios. Los químicos habían aceptado ya que todo lo material tenía masa y que la masa se conservaba en los cambios químicos; es decir, los materiales simples se combinaban para dar lugar a materiales compuestos sin perder su masa; y lo mismo pasaba en los cambios químicos entre substancias compuestas: las sustancias simples que las componían aparecían redistribuidas en los materiales finales. Pudieron así, establecer 'masas de reacción' y leyes (las proporciones fijas o ley de Proust, las proporciones múltiples del propio Dalton, las leyes de equivalentes de Richter…)

En su investigación sobre la solubilidad de los gases en agua formuló la hipótesis de que la diferencia que detectaba podía ser debida a la masa diferente de las partículas del gas. Convenía, por lo tanto, calcular estas masas. Y formuló una hipótesis sencilla para poder hacerlo (y que no siempre resulta verdade-

5 Newton, I., Óptica. Madrid: Alfaguara, 1977

ra): supuso que cuando dos sustancias simples (formadas por átomos iguales, puesto que no se puede descomponer) se unen para formar una sustancia compuesta, lo hacen átomo a átomo; las relaciones de masa en esta interacción son pues la relaciones de masa entre sus átomos, sus masas atómicas relativas.

(Podemos darnos cuenta que el problema es que la masa atómica depende de la fórmula: no teniendo ni la una ni la otra, se supone una fórmula y se va poniendo a prueba).

Por ejemplo, el agua está formada por hidrógeno y oxígeno: un 12% de hidrógeno y en 88% de oxígeno. Si suponemos que está formada por un átomo de cada sustancia simple o elemento, la masa relativa es 88/12: si H=1, O= 8.

A pesar de que pronto se consideró que son dos los átomos de hidrógeno que se combinan con uno de oxígeno para formar agua (y que, por lo tanto, H=1, O=16), la propuesta es interesantísima: como que los átomos siempre tienen la misma masa aunque estén en compuestos diferentes, podemos expresar la composición mostrando el número de átomos de cada elemento en los compuestos en lugar de utilizar porcentajes que no nos orientan sobre la estructura atómica de los compuestos. Es mucho mejor decir que el agua es HO según Dalton (o H_2O, más adelante) que referirnos a ella como 'un compuesto de oxigeno con un 12% de hidrógeno'

La atrevida propuesta de J. Dalton fue aceptada con reservas pero resultó muy fértil gracias a grandes químicos como por ejemplo, J. Berzelius o J. Liebig que la aplicaron diligentemente y con gran criterio en su investigación. Pasó momentos muy difíciles a lo largo de tres generaciones de químicos universitarios antes de llegar a proponer una lista unificada de masas atómicas y, en consecuencia, una sola fórmula a cada sustancia.

La tarea de transformar los datos de los análisis cuantitativos en fórmulas es lo que llamamos 'estequiometría'. Pero a menudo, en las clases actuales, los cálculos se derivan de las fórmulas, que ya conocemos. Lo interesante es ver como se consiguió interpretar los datos atribuyendo una masa atómica fija a cada elemento y escribir las fórmulas de manera que tuvieran relación con las características de las substancias.

Veamos un ejemplo de la manera de trabajar de los químicos al realizar el análisis elemental de las sustancias que identificaban o que sintetizaban.

Un ejemplo: ¿Cuál es la fórmula del equivalente del ácido cholálico?

El ácido holálico fue descubierto por Berzelius en la bilis y fue analizado en el laboratorio de Liebig, en Giessen, en 1848.

En la década de 1830-40 este laboratorio había ideado diversos instrumentos que permitían un protocolo de análisis con muy buenos resultados. El procedimiento de análisis fue descrito por Liebig en la segunda edición de su

monografía sobre el análisis orgánico. Lo reproducimos a continuación y les pedimos que *propongan una fórmula para el equivalente del ácido cholálico, teniendo en cuenta los datos que se proporcionan*.

Combinación con óxido de Bario para calcular la masa equivalente del cholalato de barita

1. 0,5523g de cholalato de barita da con sulfúrico 0,1270g de sulfato de bario
2. 0,5800g de cholalato de barita da con ácido carbónico 0.1210g de carbonato de bario

A partir de estos resultado encontramos la masa equivalente del cholalato de barita. La media es 476,2

Combustión de las baritas del ácido cholálico con cromato de plomo

1. 0,3361g de baritas del ácido cholálico dan 0,7415g de C^2O^4
2. 0.3410g de baritas del ácido cholálico dan 0,7505g de C^2O^4
3. A partir de estos resultados calculamos el porcentaje de carbono, que es 220,5% partes de C^2O^4 o 60.13 de carbón, C
4. 0,3361g dan 0,2500g de agua

A partir de este dato calculamos que 100g de cholalato de barita contiene 8,25 partes de hidrógeno.

Como consecuencia de todo el análisis, hay 15,55 partes de oxígeno por cien partes de cholalato de barita.

Datos: La masa equivalente del sulfato de barita es 116,5

La masa equivalente del carbonato de barita es 98.5

C= 6, baritas = 76.5, H=1, O=8

5. Reflexiones finales

La investigación en enseñanza de las ciencias con una perspectiva histórica y filosófica introduce el factor tiempo en la construcción de conocimiento y pone en evidencia los diversos factores que influyen y, en especial, que algunos de los valores que lo validaban en determinado momento histórico son fungibles. Por ello, una de las consecuencias de enseñar ciencias desde una perspectiva histórica es proporcionar un concepto de ciencia según el cual las 'verdades' que busca no son definitivas, sin que por ello dejen de ser importantes: son lo mejor posible en una época, pero pueden mejorarse según los criterios de otra. Responden a preguntas interesantes, pero en el futuro nuevas preguntas pueden ser más adecuadas. Nuevos aportes están esperando ser abordados por nuestros alumnos.

La investigación en DC se enriquece gracias a la H&F de la C; la perspectiva histórica ilumina aspectos de las ciencias que, sin ella, resultarían invisibles; desvela actuaciones humanas impulsadas por el deseo de conocer y de comunicar; valora el carácter retórico y simbólico del lenguaje, la función de los instrumentos y del contexto en la resolución de los problemas científicos, los valores que la guiaron y que influyeron en su desarrollo y la función de la enseñanza en todo ello.

A lo largo de los diferentes capítulos de este libro iremos proporcionando ejemplos y reflexiones que concreten y desarrollen las propuestas de investigación que aquí se insinúan.

A pesar de que las disciplinas actuales no existieron siempre, se pueden identificar en la historia algunas 'buenas preguntas que perduran', con dos resultados importantes: aporta ideas y datos a una posible 'teoría de los contenidos' vertebrada alrededor de estas preguntas que se pueden considerar 'fundadoras' y permite la identificación de 'buenas prácticas de creación de significados' que es la esencia de la docencia. Con ello se pone en evidencia que la faceta 'educación' está presente en todos los ámbitos de la actividad científica; sin ella, la ciencia tal como la conocemos no existiría.

Y, finalmente, algunas afirmaciones necesarias para identificarnos:

- La ciencia sin didáctica no sobrevive, porque sin alumnos no hay continuidad.
- La ciencia sin historia no imagina el futuro, porque desconoce la sorpresa de preguntas imprevistas.
- La didáctica sin ciencia que enseñar es vacía.
- Por todo ello, como la didáctica trabaja para el futuro de nuestros alumnos, necesita una ciencia con historia.

Capítulo II. Historia y Filosofía de las ciencias y Formación del profesorado: De una relación compleja a una realidad transformadora

Introducción

Son numerosas las propuestas que se han venido desarrollando con la intención de contribuir a mejorar la enseñanza de las ciencias. Lo que nos convoca en este capítulo es el *desarrollo profesional docente soportado en las relaciones entre la historia, la filosofía y la Didáctica de las Ciencias*. Esto implica favorecer una adecuada formación del profesorado como profesional de la enseñanza científica, lo cual se logrará de manera integral en los ámbitos[6] que se han considerado como los más pertinentes y apropiados para estas finalidades. Sin embargo, hablar de formación desde estas relaciones teóricas y prácticas implica que debemos orientar algunas precisiones términológicas y definir algunas directrices epistemológicas que nos parecen sugerentes. Desde allí daremos inicio a un primer apartado, en el que reflexionamos sobre la Historia de la Ciencia que nos parece más pertinente de incorporar en la formación inicial y continua de los profesores de ciencias. A continuación, enfatizamos en lo valioso que resulta para el profesor de ciencias recibir formación en Historia de las Ciencias. Finalmente, en el tercer apartado se presentan perspectivas teóricas que se han generado, una en formación inicial y otra con docentes universitarios en ejercicio. En el cuarto y último apartado se propone un diseño de unidad didáctica elaborada con la finalidad de contribuir a la formación de profesores de química desde la historia de la química.

1. ¿De qué Historia de la Ciencia hablamos para formar al profesorado?

Al referirnos a la necesidad de una formación del profesor soportada en la historia de la ciencia es necesario analizar la interpretación que se tiene sobre el proceso de formación de profesores de ciencias, lo que implica hablar de historia de la ciencia en este proceso, que por su naturaleza es complejo. La primera temática se escapa a las finalidades de este libro pero puede ampliarse y profundizarse en la lectura de otros documentos en donde nos hemos referido particularmente a este tema (García-Martínez & Izquierdo-Aymerich, 2014); la segunda temática será el centro de lo que presentamos a continuación.

6 Se interpreta el desarrollo profesional docente desde tres ámbitos centrados en el profesor y un cuarto denominado externo que condiciona o promueve los primeros. Estos ámbitos son el personal, de conocimientos y estructuras interpretativas y el práctico. Para ampliar sobre ellos ver García-Martínez & Izquierdo-Aymerich (2014).

Para comenzar, es importante mencionar que consideramos valioso y prometedor el uso de la Historia de la Ciencia en los procesos de aprendizaje y en la orientación que el profesor propicia en el aula para que éstos se desarrollen adecuadamente. Durante el proceso de elaboración de propuestas que emplean la historia de la ciencia es necesaria una mirada multidisciplinar. Así, al diseñar una unidad didáctica (UD) se puede enfatizar su contenido según sean los objetivos que se persiguen, teniendo en cuenta las limitaciones que impone la historiografía.

En este contexto, cuando se emplea el término *historia*, es importante clarificar que en ningún caso es posible la observación directa del pasado ni acceder por completo a lo que fue; tampoco se puede hacer por completo con lo que ocurre en nuestra propia época ya que no existe una historia totalmente objetiva (Kragh, 1989). En la misma obra, Kragh habla de conjunto de datos "en bruto" al referirse a algo que conocemos imperfectamente y a partir de fuentes diversas, los cuales pueden ser combinadas de manera diferente según sea la interpretación teórica del pasado.

Es importante aclarar que hay una teoría de la historia que decide si las fuentes son fiables, si son suficientes y qué interpretaciones son válidas y cuáles han de rechazarse; es decir, que se puede distinguir entre juicios históricos verdaderos o falsos. Como ya se indicó en el capítulo 1, una de las principales tendencias que nos puede conducir a juicios históricos erróneos es la *visión anacrónica* del pasado, según la cual 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 él. 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 como lo han planteado otros investigadores (Chamizo, 2007).

En el mismo contexto, Bachelard (1972) introdujo el término "historia recurrente de la ciencia" como aquella que es continuamente contada a la luz del presente. El objetivo de la historia recurrente no consiste en encontrar los conceptos que actualmente usamos en algún punto del pasado, sino en revelar el camino por el cual esos conceptos emergieron a partir de otros, en una secuencia de correcciones y rectificaciones (Chamizo, 2007).

Frente a esto, presentaremos algunas ideas que hemos desarrollado en algunos documentos anteriores (Izquierdo et. al. 2007), en los cuales manifestamos que es importante destacar que los conocimientos científicos 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 desarrollaron durante la vida de un científico de carne y hueso, con lo cual sus ideas, conjuntamente con otras, se transformaron y dieron lugar a un "descubrimiento". Todo ello da lugar a "reconstrucciones" que, sin haberse dado en el pasado, constituyen una interpretación seria del mismo, generando gran interés para la enseñanza de las ciencias.

De esta forma, lo que pretendemos es retomar episodios históricos interesantes sin utilizar más datos que los que conocemos, de no exaltar la figura del protagonista más allá de lo razonable, pero procurando ambientar el episodio según criterios actuales y didácticos, para que los estudiantes de ahora aprendan algo con todo ello no sólo de conocimientos científicos específicos, sino también de Filosofía de la ciencia, de Historia y de Lenguaje.

La idea es generar un proceso sinérgico entre las ciencias, su historia, su filosofía y por supuesto su enseñanza; no es sobreponer una por encima de la otra de acuerdo a jerarquías arbitrarias. Este proceso complejo se desarrolla en las mentes del profesorado y se formaliza teóricamente al generar actividades científico escolares (ACE) específicas. La relación entre la filosofía e historia de las ciencias y la didáctica de las Ciencias es ya tan estrecha que forma parte de la fundamentación teórica de las secuencias de enseñanza y aprendizaje que se sitúan en el marco del "constructivismo didáctico" más prometedor.

La historia y filosofía de las ciencias nos proporcionan recursos importantes para iniciar un diálogo desde la ciencia escolar, ofreciendo narraciones e historias que introducen a los estudiantes en una actividad científica llevada a cabo por personas "reales", con sus propias motivaciones y expectativas; que vivieron situaciones políticas y sociales concretas que influyeron en su trabajo; y también para alimentarlo y ofrecerle modelos, puesto que la discusión y el convencimiento del oponente forma parte intrínseca de esa actividad científica (Bonet, 2005).

Con estas ideas esclareceremos la historia de la ciencia que es necesaria y desafiante para la formación de profesores, pero consideramos que cuando esto se concrete en las acciones docentes reales del trabajo de aula fundamentadas en la historia de la ciencia es necesario hablar de un trabajo desde diferentes disciplinas que confluyen en torno a dicha acción; por eso hablamos de multidisciplinariedad, ya que requieren la colaboración de los profesores de diferentes disciplinas (física, geología, biología, química, etc.) y, además, de la historia de la ciencia. Su coordinación pertenece a la didáctica de las ciencias, ya que potencia la creación de *islotes de racionalidad*, en el sentido en que las disciplinas "se ponen de acuerdo" en contenidos y procesos para generar mejores aprendizajes contextualizados educativamente.

2. ¿En qué se beneficia un profesor al saber de historia de la ciencia?

Al plantear la urgente necesidad de mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias que permita la reconstrucción de una imagen de ciencia en los estudiantes, cada vez más alejada de visiones positivistas y enciclopedistas, surge el uso de la historia de la ciencia en el aula como una vía valiosa para lograr estas finalidades. Retomando la idea de la necesidad

de crear estos islotes de racionalidad, en donde confluyan varias disciplinas al momento de analizar una situación didáctica especifica, se plantea la necesidad de que sea el profesor de ciencias quien los diseñe adecuadamente; que partiendo de los conocimientos de las disciplinas, del conocimiento y pensamiento sobre los estudiantes y de esas ideas que manifiestan, entre otros aspectos fundamentales, estimule ambientes de aprendizaje adecuados en sus contextos y realidades. Esto implica que el profesor esté formado teóricamente en naturaleza de las ciencias a través del conocimiento de la historia de la ciencia, para poder generar estos diseños y orientarlos adecuadamente.

Al respecto, Matthews (1994) plantea que un profesor de ciencias instruido en historia y filosofía puede ayudar a los estudiantes a entender cómo la ciencia capta, o no capta, el mundo real, subjetivo y vivo. Es más común dejar al estudiante con la desgraciada alternativa de rechazar su propio mundo como si fuera una fantasía. Sin embargo, es necesario considerar que existen diferencias entre las ideas históricas y las sostenidas por los estudiantes actuales. Gauld (1991) subraya algunas diferencias sustanciales. La primera es que el proceso de desarrollo de las ideas en los estudiantes es frecuentemente inconsciente; en cambio, el proceso de construcción de teorías por los científicos es habitualmente consciente. Otra diferencia es que el desarrollo de las ideas en los estudiantes es individual, mientras que las ideas científicas, para tener este status, deben ser desarrolladas en cooperación y confrontación con las visiones de otros científicos que trabajan en el mismo campo. Por último, las ideas de los alumnos se originan generalmente en la vida cotidiana, mientras que las de los científicos se desarrollan y consolidan a partir del conocimiento científico vigente.

Sería extraño pensar en un buen profesorado de ciencias que no tenga un conocimiento razonablemente elaborado de los términos de su propia disciplina (causa, ley, explicación, modelo, teoría, hecho) o de sus objetivos, frecuentemente conflictivos (describir, controlar, comprender, argumentar) o de su dimensión cultural e histórica. Esto reafirma la diferencia entre *ser educado en ciencias* y simplemente *ser formado en ciencias*; el profesorado debería *ser educado en ciencias*.

Es necesario que el profesor tenga un conocimiento en profundidad de su propia disciplina, frente a lo cual Shulman (1987) pregunta sobre el "paradigma perdido" -el dominio de la asignatura soportada en la disciplina misma- y la habilidad para hacerlo inteligible a los estudiantes, habilidades que requieren la más alta visión proporcionada por la historia y la filosofía de la ciencia. "Pensar con propiedad sobre el conocimiento del contenido requiere ir más allá de los hechos o conceptos de un campo. Requiere comprender la estructura de la asignatura (disciplina) [...]" Los profesores deben ser capaces de explicar por qué una cierta proposición se estima justificada, por qué vale la pena conocerla y cómo se relaciona con otras proposiciones, tanto dentro de la disciplina como fuera de ella, tanto en la teoría como en la práctica.

La historia de la ciencia nos alerta a los profesores sobre la necesidad de una aproximación fenomenológica de las representaciones científicas, nos permite orientar a nuestros estudiantes sobre qué, con qué y cómo se relacionan dichas representaciones y cómo pueden confrontarlas con situaciones de su vida cotidiana; o, mejor aún, con situaciones de la vida real en otros momentos de la evolución de la ciencia misma (García-Martínez, 2003). Haciendo uso de una analogía, se plantea que la historia de la ciencia se convierte en un vehículo para formar a los profesores en formación inicial y en ejercicio, ya que no sólo están estudiando su disciplina, sino que se están cuestionando la manera como se genera el conocimiento y cómo se transmite de generación en generación (Quintanilla, 2005).

Se plantean numerosos argumentos en favor de esta propuesta, desde diferentes perspectivas y orientaciones teóricas, pero todas coincidentes en que dicha vinculación genera nuevas y mejores relaciones entre lo que se desea enseñar y lo que el estudiante va a aprender, creando así visiones más próximas a la manera en que se produce el conocimiento científico y hacia la actividad científica misma, con menos estereotipos y con una postura más crítica y reflexiva hacia las ciencias. Sin embargo, hay que tener en cuenta que aún en los casos en que los profesores cuentan con una formación en Filosofía e Historia de la ciencia, ésta no se refleja en su práctica si carecen de un conocimiento funcional para llevarla a cabo en el aula (Mellado & González, 2000).

Quizá un obstáculo significativo al incorporar la historia en las lecciones de Química, por ejemplo, es la formación de los profesores sobre las fuentes que ellos pueden eficientemente enseñar a partir del trabajo de los científicos y de sus descubrimientos específicos (Wandersee et al., 2002). Construir una historia de las ciencias más asequible a los profesores es difícil de lograr pero es un reto que hay que asumir.

3. ¿Qué perspectivas de formación del profesorado pueden generarse a través de la historia de la ciencia?

No son muchas las propuestas que utilizan la historia de la ciencia como elemento central de la formación docente. A continuación presentamos dos propuestas que hemos desarrollado e implementado en los últimos diez años.

3.1. Una alternativa desde el ciclo teórico empírico

La formación del profesorado debe facilitar una mirada amplia que abarca tanto los conocimientos científicos como su historia para enseñar mejor las ciencias a los jóvenes que serán los ciudadanos del mañana. Quintanilla et. al. (2005) han diseñado una propuesta de formación inicial de profesores que tiene en cuenta estas consideraciones, denominado Ciclo Teórico Empírico (CTE) o "Modelo Carrusel" según un proceso en diez etapas cada una de ellas con sus propios materiales docentes, las cuales se describen a continuación:

1. *Identificar los dos ejes de formación científica: saber ciencia y saber lo que es la ciencia*. La historia aporta elementos para pensar sobre la ciencia e identificar "modelos" de emergencia de los contenidos.

2. *Identificar y caracterizar los componentes del conocimiento profesional del profesorado de ciencias*. El profesor trabaja para la educación de su alumnado y, al presentar problemas científicos en clase, debe hacerlo según tres planos el instrumental-operativo, el personal-significativo y el relacional-cultural.

3. *Caracterizar el conocimiento de ciencias que ha de tener un profesor desde la perspectiva de tener que enseñarla*. Los dos puntos anteriores ya han obligado a una reflexión sobre los conocimientos científicos en el aula. El nuevo paso es aceptar que lo fundamental de esta ciencia es enseñar a pensar con teorías (científicas, didácticas, históricas).

4. *Identificar la historia de la ciencia que es valiosa para la formación del profesorado de ciencias*. Para facilitar esta visión teórica, es importante valorar el aporte de las narraciones en las cuales se presenten temas que hagan pensar de manera crítica a los estudiantes.

5. *Procurar que se expliciten los modelos de ciencias del profesorado de ciencias*. El resultado de este primer "bucle" de formación debería ser poner en crisis las representaciones de los futuros profesores y profesoras sobre las ciencias, para aceptar una mayor complejidad al caracterizar las teorías, el método, el lenguaje y los instrumentos.

6. *Definir y organizar la secuencia de los contenidos*. A partir de esta crisis, se han de diseñar tres núcleos de formación histórica, didáctica y científica, de manera que sean coherentes entre si cada uno de ellos.

7. *Identificar contribuciones históricas que son especialmente relevantes para la formación del profesorado*. A partir de ahora se inicia un nuevo "bucle" formativo, en el cual debería pedirse mayor implicación del profesorado en formación en la búsqueda de contribuciones que les parezcan especialmente relevantes porque ayudan a comprender las circunstancias en la producción de conocimiento.

8. *Identificar ejemplos paradigmáticos de historia de la ciencia, su transposición y su evaluación*. Conviene ahora identificar "ejemplos paradigmáticos" de historia de las ciencias haciendo ver sus consecuencias para comprender la naturaleza de las ciencias, sus métodos y sus instrumentos de investigación.

9. *Pensar de manera metacognitiva sobre la organización de la historia de la ciencia al enseñar ciencias*. Se invita a los estudiantes a evaluar los episodios históricos rehuyendo una retórica meramente triunfalista y teniendo en cuenta su valor para la educación científica con retos intelectuales valiosos.

10. R*eorganizar el currículo de ciencias a partir de las contribuciones de la historia de la ciencia*. Creemos que el futuro profesor que se haya formado en historia de la ciencia habrá comprendido que los caminos que conducen a la emergencia del conocimiento científico son muy complejos y podrá planificar las clases (especialmente, las clases prácticas) de manera menos ingenua, dando más importancia al discurso en el aula.

Se aclara que en "cada una de las etapas del ciclo se emplean textos históricos y didácticos para ayudar a lograr diversas finalidades, con una metodología que favorece la autorregulación de los aprendizajes y la resignificación continua del conocimiento profesional, científico y didáctico. Los instrumentos creados a partir de este ciclo tienen como objetivo ayudar al profesorado de ciencias naturales en formación a reflexionar sobre los contenidos, instrumentos, objetivos, situaciones, procedimientos, valores, enfoques y materiales que les permitan valorar la contribución de la historia de la ciencia a su propio desarrollo profesional" (Quintanilla, 2005).

3.2. Una mirada desde las comunidades de desarrollo profesional, CODEP

La formación del profesorado de ciencias en ejercicio es un proceso complejo, en razón a los ámbitos de formación que se contemplan para tal finalidad y el contexto en el que se desenvuelven los profesores (García-Martínez & Izquierdo, 2014). A continuación, presentamos las directrices teóricas y metodológicas de un proceso de formación de profesores de química en ejercicio que tuvo como elemento dinamizador la historia de la química para su desarrollo profesional. Este proceso permitió la generación de una comunidad de desarrollo profesional (CODEP), con productos de diseño generados en este coletivo (García-Martínez, 2009).

El proceso de formación de los profesores de química en ejercicio se desarrolló a través de la configuración de una CODEP, la cual se describe a continuación. Ésta consta de cinco fases (figura 1), las cuales son: (i) identificación de propósitos y selección de contenidos; (ii) selección del tópico y área de la historia de la ciencia a estudiar; (iii) diseño de la herramienta de enseñanza/aprendizaje; (iv) implementación y análisis del proceso de aplicación de la herramienta y, (v) reflexión metacognitiva sobre el proceso desarrollado.

A continuación describimos cada una de estas fases.

Fase 1. Identificación de propósitos y selección de contenidos

En esta primera fase en la CODEP se realiza un reconocimiento de las ideas espontáneas de los profesores sobre los aspectos básicos en los cuales se fundamenta el proceso de formación a desarrollar , para lo cual se aplican instrumentos que intentan identificarlas, en el caso mencionado se aplicaron instrumentos sobre naturaleza de la ciencia, procesos de enseñanza y aprendizaje de las

ciencias, diseño del currículo y la evaluación. Finalmente, se examinaron sus ideas acerca de la relación entre la enseñanza e historia de las ciencias, lo que permitió generar una aproximación inicial de la visión del profesorado de química sobre su actividad profesional, reconociendo posibles dificultades de los profesores sobre su propia disciplina y la manera como la enseñan.

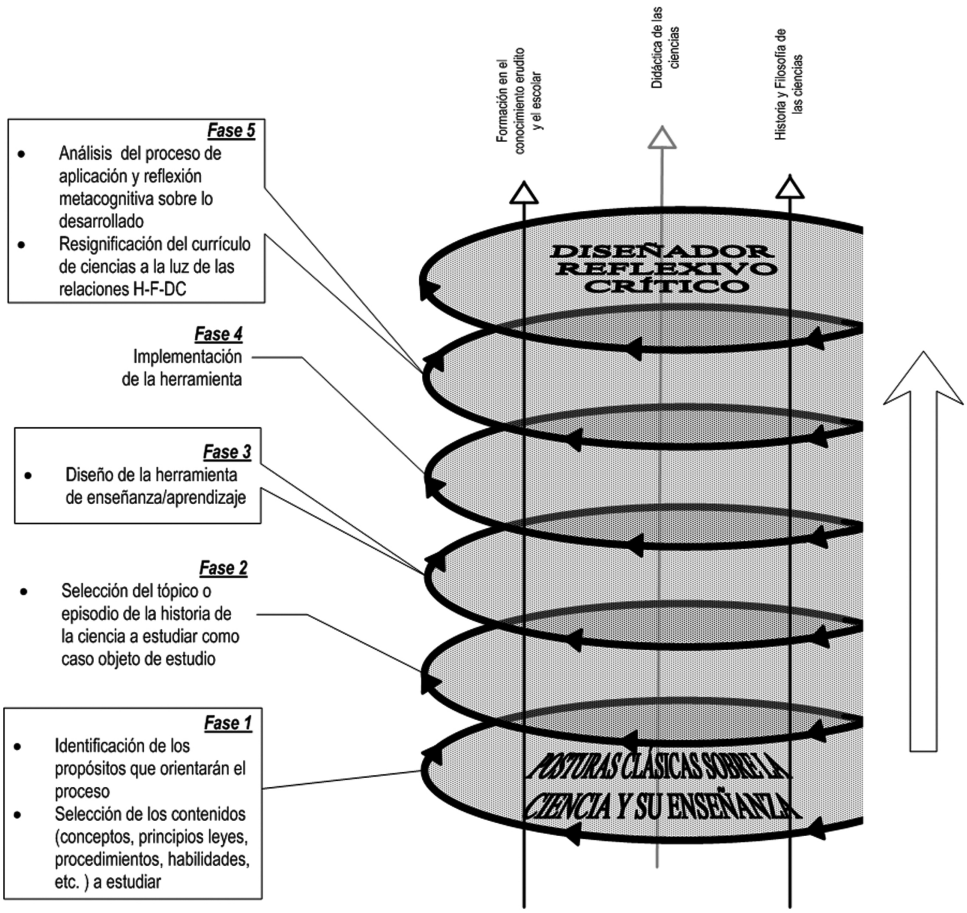


Figura 2. Fases de desarrollo de una comunidad de desarrollo profesional (García-Martínez, 2009).

En esta fase se pretende que el profesorado realice una reflexión autocrítica sobre sus ideas acerca de la ciencia, su enseñanza y las relaciones que se establecen con la historia de la química. En este momento se reconocen y caracterizan las actitudes de los profesores hacia el proceso a desarrollar y su compromiso con el trabajo educativo científico que se planificará; así se plantean los retos, intereses y problemas que se pueden abordar durante todo el proceso de enseñanza aprendizaje. Comparamos las reflexiones que cada uno

de ellos ha realizado y analizamos las posibles alternativas de intervención en el futuro. Con todos estos elementos de reflexión se evalúan en la CODEP los contenidos que se van a tratar y que serán objeto de investigación, discusión y generación de nuevas propuestas. En este sentido se determinan los posibles conceptos, procedimientos, habilidades, actitudes u otros aspectos a considerar como objetos de estudio.

Fase 2. Selección del tópico y área de la historia de la ciencia a estudiar

Retomando el diagnóstico anterior, orientado por un trabajo de comunidades, se determina el tópico que se podría trabajar y que sería pertinente abordar con estas finalidades, con el propósito de estudiar la temática que se ha seleccionado como objeto de estudio específico (por ejemplo cambio químico y calor específico). De igual manera, se selecciona el tipo de orientación teórica desde la historia de las ciencias que sería más interesante y pertinente trabajar con los profesores, en las cuales se contemplan: ciencia y cultura, comunicación en ciencia, problema de las minorías, género, instrumentos y prácticas experimentales, cuadernos de notas, entre otros. Cuando se interactúa con otras personas en comunidades (CODEP), se generan y comparten ideas y conceptos, las cuales se consideran como herramientas cognitivas, con las que pensamos y actuamos para comprenderlas y utilizarlas apropiadamente; implica que es algo valioso tanto para el pensamiento individual como para los diálogos con los demás que constituyen el colectivo. Esta interacción modela y orienta permanente y significamente las interacciones con los demás, ya que se derivan de una construcción cultural simbólica.

Las comunidades de profesores de ciencias varían, al punto que se puede hablar de subculturas, ya que por el nivel en el que se desempeñan, su área de formación, las asignaturas que enseñan y en donde se genera la intervención, se propicia la creación de diferentes comunidades y dentro de ellas subculturas; en este caso *la subcultura de la química general y la fisicoquímica*.

Una comunidad profesional de profesores de ciencias, en este caso de química, requiere que sus miembros se comprometan en dos tipos de trabajo: *el intelectual y el social*, es decir, nuevas estrategias de pensar y razonar colectivamente al mismo tiempo que nuevas formas de interactuar personalmente. Nos parece que un aspecto relevante que debe aprenderse es la idea de que hay "cosas" que una persona sabe y la otra no y que el conocimiento colectivo excede al individual (Vigotsky, 1998). El aprender a partir de otros compañeros requiere un cambio en la perspectiva de aprender y en la habilidad de escuchar a los otros, especialmente en esforzarse en formular reflexiones teóricas en respuesta a retos intelectuales de los contenidos estudiados.

Fase 3. Diseño de la herramienta de enseñanza/aprendizaje

En esta fase pretendemos evidenciar la manera como interpretan los profesores *el uso de la historia de las ciencias en un contexto escolar* y qué análisis realizan para su posterior implementación. De igual manera, nos permite reflexionar sobre la forma en que ellos conciben el mejoramiento de su enseñanza, promoviendo el desarrollo de aprendizajes significativos, mediante el empleo de la historia de la ciencia. En esta fase se analizarán los criterios que se consideran para la selección de conceptos estructurantes o fenómenos centrales, los objetivos, los contenidos, su construcción, el seguimiento que realizarán, el tipo de herramienta que construirán, es decir, la réplica del experimento histórico, el uso de un instrumento, la creación de modelos, el diseño de una unidad didáctica o de un mini curso, elaboración de una cartilla, entre otros, que nos resultan tan habituales en nuestras prácticas, pero que no hemos teorizado sobre ellos.

De igual manera, se realiza una retroalimentación sobre lo que se ha discutido hasta el momento, a partir de las ideas del profesorado, sus prácticas y la metodología con la que vienen trabajando en torno al diseño de la herramienta; al mismo tiempo se reflexiona sobre cómo se desarrolla su participación en el colectivo de profesores de la comunidad. Se promueve así la regulación y autorregulación del profesor durante este proceso de formación y desarrollo profesional.

Una forma particular de distribución del conocimiento (científico, histórico, didáctico) entre los profesores de la CODEP es la distribución de diferentes formas de conocer la ciencia. Aquí, lo que está distribuido entre los individuos son maneras de leer texto valiosos, formas de hacer preguntas interesantes, maneras de resolver problemas desafiantes intelectualmente, de diseñar actividades creativas, entre otras. Esas "epistemologías distribuidas" (Grossman & Wineburg, 2000) enriquecen la discusión pero no necesariamente conducen a síntesis de gran relevancia para los sujetos. Cada uno de los participantes presenta sus argumentos frente a un tema en particular dando mayor discusión y complejidad a lo estudiado. El ejercicio central no es resolver un rompecabezas en grupo sino derribar caminos y nociones personales que satisfacen en forma y contenido, resultando relevantes para ellos.

En este sentido se va observando la evolución de la comunidad por los diferentes roles que surgen de manera natural en este proceso: el líder, el dinámico, el pragmático, el teórico, entre otros. El grado de participación en las discusiones y la forma como ésta se va distribuyendo entre todos los participantes al tiempo que se va deslocalizando o desmonopolizándose la actividad en el grupo es un indicador de equidad y madurez profesional (Grossman & Wineburg, 2000). Estos autores destacan que las comunidades son microcosmos, parte de un gran colectivo social, en donde su eje son los derechos y también las responsabilidades de los miembros. Para que una comunidad se mantenga,

los miembros deben creer que sus derechos los pueden expresar honestamente, sin miedo a la censura o la ridiculización. Pero una genuina comunidad hace demandas a sus miembros para que asuman ciertas responsabilidades. En una comunidad profesional de profesores de ciencias el *centro de responsabilidad es su aprendizaje*. Esta responsabilidad incluye los grupos de discusión, apurar a los otros para que clarifiquen sus ideas, comprometer a otros en la producción de ideas y proveer recursos para que ellos aprendan. Para que esto ocurra, el coletivo debe propiciar un ambiente de seguridad en el cual los individuos sean libres para expresarse, explorar ideas, plantear opiniones y posteriormente retractarse de ellas si corresponde.

El objetivo último de una comunidad de aprendices en una sociedad pluralista es aprender a ver diferencias como fuentes de inspiración más que como una obligación. Se plantea una constante tensión entre comunidad y diversidad, es decir, que *se generan fuerzas centrípetas hacia la comunidad y fuerzas centrífugas hacia la diversidad*. Esto es muy natural, ya que *la comunidad profesional presiona por el logro de consensos y supresión de disensos*.

Fase 4. Implementación y análisis del proceso de aplicación de la herramienta

En esta fase se contrastan los criterios que planteó el profesor para el diseño de la unidad didáctica (o la herramienta seleccionada) y cómo los retoma al momento de su implementación. Se presta especial interés en la forma en que desarrolla cada una de las actividades y los componentes que resalta, bien de manera positiva o negativa, con el fin de evidenciar la relación de sus ideas y como éstas orientan su propuesta. De igual manera, se pretende que la CODEP genere todo un proceso de regulación de la actividad con miras a mejorarlo y a planear futuros aspectos que fortalecerían el desarrollo de ésta herramienta. Como dimensión fundamental se pretende generar la regulación frente al uso que se le dio a la Historia de la ciencia y cómo se evidenció en el desarrollo de cada una de las actividades propuestas por los docentes, así como, los aspectos en los que realiza énfasis el profesor y y la justificación de su actividad. La construcción social de la comunidad requiere una negociación continua, incluyendo la regulación de las interacciones sociales y de las normas de grupo. Pero estas normas parten de unos principios compartidos, bien objetivos, intereses, problemáticas comunes, lo cual requiere de una responsabilidad de cada uno de los participantes. Con el tiempo observamos como los profesores de química iban tomando la vocería del grupo e inclusive presentando alternativas que no estaban contempladas originalmente en los acuerdos iniciales, fisurando el esquema de una responsabilidad individual asumida por el coordinador o dinamizador de la comunidad.

Aquí retomamos el principio de que la comunidad de profesores de ciencia es un espacio privilegiado que permite el desarrollo del liderazgo. En la escuela, este liderazgo no es un rasgo de la personalidad sino que es un atributo que se

desarrolla en las relaciones sociales en contextos específicos. Con frecuencia se constituyen entre ellos mismos; "la escuela dentro de la escuela", viene a ser más que una metáfora ya que se crea el equivalente a una red electrónica, lo cual se evidenció en nuestro caso en los subgrupos constituidos.

Grossman & Wineburg (2000) plantean que hay muchas razones por las cuales se deben cultivar comunidades profesionales de profesores de ciencias, desde proveer oportunidades para el aprendizaje de docentes hasta el enriquecimiento de posibilidades de aprendizaje de los estudiantes; desde conservar el talento de los profesores hasta habilitarlos a trabajar juntos hacia un objetivo común como, en nuestro caso, el *uso de la historia de la ciencia para mejorar la calidad de la docencia universitaria*. Las comunidades profesionales pueden ayudar a conseguir esos objetivos; pero hay algo más imperativo: sociedades democráticas como las nuestras (aunque sea un ideal) descansan sobre la premisa de que las voces individuales son importantes, que las diferentes perspectivas son productivas y que los conocimientos del colectivo exceden al conocimiento individual, situación que se hará evidente en el trabajo desarrollado por la comunidad. En el contexto de las sociedades democráticas la construcción de comunidades adquiere significados valiosos. Si los profesores no pueden ellos mismos construir un discurso democrático y un reconocimiento a la diversidad de voces ¿cómo preparan a los estudiantes para incorporarse en un mundo pluralista como ciudadanos? Si nosotros no somos capaces de manejar las diferencias que nos dividen ¿cómo podemos decirles a los estudiantes que lo hagan? En nuestro caso, esto se evidencia cuando los profesores de ciencias modifican las metodologías para trabajar con los estudiantes en el aula de clase, destacándose el trabajo en equipos. ¿Qué mejor que ubicar al profesorado en una *actitud investigativa*, lo cual permite generar una comprensión más profunda sobre la forma de vincular el conocimiento científico con la práctica de aula, lo cual se constituye como una vía alternativa para facilitar el desarrollo profesional de los profesores? (Liberman & Miller, 2003 citado por García & Pareja, 2008). Este es el aspecto fundamental que se aplica en una CODEP.

Fase 5. Reflexión metacognitiva sobre el proceso desarrollado

En esta fase analizamos los posibles cambios que se presentan en los profesores que conforman la CODEP, sean sus actitudes, su lenguaje o sus acciones. Se realiza de igual forma una reflexión metacognitiva sobre las relaciones historia, filosofía y enseñanza de las ciencias. En esta fase, se enfatiza el análisis sobre la manera en que se han relacionado la historia, la filosofía de las ciencias en las unidades didácticas diseñadas u otras herramientas seleccionada para la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos específicos y fenómenos objetos de estudio. Al respecto Putnam y Borko, (1997) manifiestan que "los profesores de ciencias necesitan tener la oportunidad de aprender a ser críticos y a reflexionar sobre su enseñanza. Es más, si nos tomamos seriamente la idea de que el pensamiento complejo nace de la interacción social, entonces los pro-

fesores necesitan comunidades donde aprender y practicar estas habilidades y disposiciones".

Al mismo tiempo, en esta fase se centra la atención en la necesidad de generar una propuesta de diseño curricular (PDC). La necesidad de generar cambios a nivel curricular se hace indispensable en razón a que es uno de los componentes que orienta, limita o proyecta la acción docente hacia modelos alternativos cada vez más alejados de los tradicionales. Esto se reafirma en las palabras de Cochran-Smith & Lytle (2002 citado por García & Pareja, 2008) cuando mencionan que los profesores aprenden cuando reconstruyen el conocimiento mientras que trabajan en un contexto de comunidades de investigación que teorizan y elaboran su trabajo, conectándolo con aspectos culturales, sociales y políticos.

4. ¿Qué tipo de estrategias pueden emplearse para formar al profesor a partir de la historia de la ciencia?

Al pensar en la formación de profesores para generar un desarrollo profesional se han desarrollado diferentes propuestas. En este apartado presentaremos una unidad didáctica en el contexto del cambio químico para la química general, la cual se diseño para formar estudiantes para profesor de química, es decir, profesores de química en formación. A continuación se presentan cinco secciones: la primera da cuenta de lo que se pretende con esta unidad, la segunda de lo que se espera que aprendan los profesores en formación, la siguiente del como trabajar con esta estrategia planteada, la cuarta el cómo hacer el seguimiento de los aprendizajes y la última contiene las once actividades que la constituyen.

¿Por qué esta unidad didáctica?

Para un profesor de química es importante comprender adecuadamente y controlar teóricamente el concepto de cambio químico, ya que este es la base para entender las transformaciones de las sustancias. Le permite orientar a los estudiantes para que puedan reconocer y estudiar este tipo de procesos en los fenómenos naturales que les rodean y que les son tan habituales. Con la comprensión adecuada de este concepto (modelo teórico de cambio químico -Merino & Izquierdo, 2011-) los estudiantes pueden generar explicaciones más claras, pertinentes y precisas de muchos fenómenos y pensar en las estrategias mediante las cuales los explicarán, como futuros profesores, y formularán actividades pertinentes para que sus estudiantes los comprendan e interpreten el mundo mediante teorías científicas. A partir de estas consideraciones, esta unidad didáctica se ha elaborado como herramienta que ejemplifica las relaciones entre historia, filosofía y didáctica de las ciencias. Desde la historia de la química se han retomado algunos experimentos de Joseph Black sobre la magnesia alba; desde la filosofía se ha resaltado el papel de la experimentación y los instrumentos científicos; y desde la didáctica se ha diseñado esta herra-

mienta basada en una perspectiva constructivista para contribuir al desarrollo profesional docente de los participantes (García-Martínez, 2009).

¿Qué enseñar y aprender en esta unidad didáctica?

Los conceptos que se han previsto estudiar son los siguientes: cambio químico, conservación de la materia, sustancias, propiedades de las sustancias, tipos de reacciones químicas, estequiometria, métodos de balanceo de ecuaciones, reactivo límite, reactivo en exceso y eficiencia. Se pretende que el estudiante para profesor, identifique estos conceptos estructurantes y establezca diferentes tipos de relaciones entre ellos para facilitar así su comprensión. A nivel del trabajo de laboratorio se espera que ellos planifiquen, realicen sus propios diseños y generen adecuados procedimientos de seguimiento a los experimentos que desarrollaran. Esto contribuye, no sólo a la formación de los conceptos propios de la química, sino que permite a los alumnos que desarrollen habilidades de pensamiento, que relacionen los conceptos con la acción y habilidades y destrezas en las operaciones básicas de trabajo en el laboratorio.

¿Cómo implementar la unidad didáctica?

Es fundamental que el estudiante conozca la evolución histórica de las prácticas experimentales y los instrumentos científicos, así como el pensamiento teórico considerando la relación existente entre los procedimientos materiales, el modelo instrumental y el modelo del fenómeno, cuyas interrelaciones crean diferentes alternativas de generación de conocimiento químico. En este sentido, se parte del análisis de los conceptos básicos para la comprensión del concepto clave a enseñar, los cuales se organizan en un mapa de diseño curricular, que orienta la secuencia de las actividades que se desarrollarán durante la unidad didáctica. La estrategia que se ha seleccionado en este caso es el estudio de *un episodio de la historia de la química en donde se resalta el papel de la experimentación y de los instrumentos científicos en la construcción del conocimiento científico*. Las actividades que diseñamos son de variados tipos; se incluyen actividades de introducción de conceptos, de trabajos prácticos, actividades de estructuración y generalización y actividades de aplicación. Los trabajos prácticos se desarrollan mediante el uso del diagrama heurístico en V de Gowin (Novak & Gowin, 1988).

¿Cómo realizar el seguimiento al trabajo de los estudiantes?

Para realizar el seguimiento del trabajo desarrollado y de los alcances logrados (proceso evaluativo), se han incluido varios instrumentos en diferentes etapas del desarrollo de la unidad didáctica. Antes de comenzar las actividades de introducción de conceptos, los estudiantes desarrollan un test de ideas previas y construyen un mapa conceptual. Durante el desarrollo de diferentes actividades, realizan sustentaciones individuales y grupales del trabajo adelantado en cada una de ellas, así como la presentación de los diagramas

heurísticos del trabajo experimental. Es interesante destacar que a partir del problema sugerido, los estudiantes construyen su propuesta de abordar el problema, delimitando variables, formulando hipótesis, creando su propio diseño experimental original y creativo. Finalmente los estudiantes elaboran un mapa conceptual final y responden un test final sobre los conceptos estudiados.

¿Cómo se desarrolla el trabajo con profesores de química en formación?

En este apartado se presentan once actividades centrales de diferentes tipos, relacionadas de forma tal que contribuyan al desarrollo profesional de los profesores de química. En cada actividad se presenta el tipo al cual pertence, una orientación para el profesor con pautas para emplearla y lo que se pretende con cada una. En algunas aparece el texto que se desea que se estudie y algunas preguntas de orientación; en otras aparecen actividades de regulación y autorergulación, con lo cual se genera una variedad de posibilidades para su desarrollo.

Tipología de la actividad	**Actividad de Exploración de conceptos y de estructuración**
Actividad 01	
Tomando como referencia el siguiente texto sobre los estudios de Joseph Black en torno a la Magnesia Alba, analiza las preguntas que aparecen luego de este fragmento sobre cómo se construye concepto de cambio químico. Recuerda que para esta época (siglo XVIII) no se tenía claro como se transformaban unas sustancias en otras, por tanto no se disponía de un sistema universal de representación de los cambios químicos y muchos de los científicos no seguían un proceso sistemático a nivel cuantitativo.	
Texto para analizar	A partir de 1753 Joseph Black comenzó a estudiar un problema que enfrentaba a dos de sus profesores : la descomposición de la piedra caliza (carbonato de calcio) para formar cal viva (oxido de calcio) que al aire de manera gradual se vuelve blanda y en agua forma el agua de cal (Hidróxido de calcio) (1). Cuando él lo hizo, consideró oportuno evitar cualquier conflicto con sus dos profesores; y en lugar de investigar el agua de cal, el analizaría otras tierras absorbentes para descubrir, si era posible, "un agente litotríptico[7] mas poderoso". El escogió un polvo blanco, magnesia alba (Carbonato básico de magnesio $4MgCO_3.Mg(OH)_2.5H_2O$ según la fórmula actual), que se había puesto en boga como un purgante suave. Su preparación y sus propiedades en general habían sido descritas por el químico alemán Friedrich Hoffmann; a pesar que ésta se pareciese a las tierras calcáreas (carbonatos), la magnesia alba claramente se diferenciaba de ellas. Black preparó esta sustancia (carbonato básico de magnesio) por reacción de sales de Epson (sulfato de magnesio) con cenizas de perlas (carbonato de potasio) (2). El trató de purificar el producto con varios ácidos, notó que las sales producidas diferían de las correspondientes formadas de la cal. El observaba, que la magnesia alba efervescía fuertemente con los ácidos, mucho más que la tiza (chalk) o piedra caliza.

7 Rompimiento de piedras

Preguntas de profundización Preguntas reguladoras y autorreguladoras	1. ¿Cómo explicarías el proceso de producción del agua de cal, mencionado en el texto subrayado (1)? Represéntalo y elabora una forma de explicarlo a un compañero. ¿Cómo plantearías la ecuación química que explica el proceso (2) desarrollado por Black para obtener la Magnesia Alba? 2. En caso de cambiar las condiciones de reacción (temperatura, naturaleza de las sustancias y pureza, entre otras) ¿Qué tipo de productos y reactivos se obtendrían en el proceso (1)? ¿Se podrían obtener los reactivos a partir de los mismos productos? Argumenta brevemente.
Comentario para el profesor	Se pretende que a partir de la lectura el estudiante tenga oportunidad de conocer algunos componentes históricos básicos para la comprensión del cambio químico, tales como la ecuación química, cómo se representa, cuál es su significado, la relación entre reactivos y productos y el principio de la conservación de la materia. De igual forma, se pretende que el estudiante analice la interpretación que se daba en esa época al cambio químico y la aparición de nuevas propiedades que las sustancias originales no presentaban y cómo algunas de estas se interpretaban como propiedades obtenidas a partir del fuego. Así mismo, que el estudiante reflexione sobre la actual terminología científica y la forma como ésta ha evolucionado en la historia de la ciencia. Con esta actividad se inicia el estudio del concepto de cambio químico, los tipos de reacciones químicas (descomposición y combinación) y su direccionalidad. En esta actividad se espera que los estudiantes reconozcan que hay condiciones específicas para que se produzca una reacción química. (El texto que leen los estudiantes ha sido tomado del *Dictionary of scientific Biography*. Charles Coulston Gillispie. Vol. 2. New York, 1970; traducido y modificado por el autor.

Tipología de la actividad	**Actividad de identificación de ideas previas**
Actividad 02	
A continuación te presentamos dos instrumentos (textos escritos) que intentan analizar el conocimiento que tienes sobre algunos conceptos relacionados con el cambio químico, estequiometria, experimentación e instrumentación científica; lee con atención y responde cada una de las situaciones planteadas.	
Comentario para el profesor	Se sugiere aplicar un instrumento sobre ideas previas de cambio químico. Se incluyen preguntas sobre reacciones químicas, estequiometria y recolección de gases con el fin de que el estudiante se cuestione sobre el papel del instrumento en historia de la ciencia y en la investigación científica. Tiempo estimado 2 horas.

Tipología de la actividad	**Actividad de identificación de ideas previas**
Actividad 03	
A continuación se enlistan algunos conceptos para que los relacionen en un mapa conceptual.	
Comentario para el profesor	Los conceptos incluidos son los siguientes: cambio químico, principio de conservación de la materia, estequiometria, coeficientes estequiométricos, métodos de balanceo de ecuaciones, reactivo límite, reactivo en exceso, eficiencia. Tiempo estimado 1 Hora.

Tipología de la actividad	Actividad de exploración e introducción de conceptos
Actividad 04	
Realiza la lectura correspondiente a la historia social del siglo XVIII, analiza el contexto en que se desarrolla la ciencia para esa época.	
Comentario para el profesor	Con esta lectura sobre los experimentos que realizó Joseph Black se pretende que el estudiante se sitúe en el contexto histórico de la época y además se cuestione sobre la experimentación científica. Así mismo, es indispensable que el profesor oriente a los estudiantes sobre el por qué es importante estudiar los hechos de esta época, la influencia de Joseph Black en el desarrollo del concepto cambio químico y su importancia para la química como ciencia. Finalizadas estas dos actividades se realizará una retroalimentación. Tiempo estimado 1 Hora.

Tipología de la actividad	Actividades de estructuración y aplicación
Actividad 05	
Lee el siguiente fragmento y analiza los cuestionamientos que aparecen luego	
Texto para analizar	¿Podría formarse un producto similar a la cal viva al calcinar la magnesia alba? ¿Podrían estas soluciones tener la causticidad y el poder disolvente del agua de cal (hidróxido de Calcio)? El esfuerzo de Black para probar esta posibilidad iba guiando su investigación. Cuando calentaba fuertemente la magnesia alba, el producto evidenciaba tener propiedades inesperadas. Se aseguro que, tal como la cal viva, esta 'magnesia usta' (óxido de magnesio) no efervescía con los ácidos, ya que ésta no era sensiblemente cáustica o fácilmente soluble en agua, y podría fuertemente sustituir al agua de cal.
Preguntas de profundización	1. Explica en qué consistían los cuestionamientos de Black y escribe las ecuaciones respectivas para cada proceso clasificándolas. 2. Plantea la ecuación para la obtención de la Magnesia Usta.
Comentario para el profesor	Se pretende que el alumno estudie la magnesia alba como sustancia química y formule algunas ecuaciones sencillas de las reacciones de ésta con otras sustancias, en especial con ácidos. Se plantea de igual manera que el estudiante analice la formación de la Magnesia Usta. Es indispensable que analicen la regularidad de algunos procesos químicos, lo cual se evidencia en la formación de los óxidos básicos, óxido de calcio y de magnesio, y su posterior formación del hidróxido.

Tipología de la actividad	Actividades de estructuración y aplicación
Actividad 06	
Tomando como referencia el siguiente fragmento de la lectura realizada, analiza los cuestionamientos que se presentan a continuación de ella:	
Texto para analizar	Las propiedades de esta sustancia tomaban toda la atención de Black, en especial el descenso en el peso que resultaba cuando la Magnesia Alba cambia a Magnesia Usta. ¿Qué se pierde? Haciendo uso de la balanza de una manera tan sistemática como ningún químico lo había hecho antes, él llevó a cabo una serie de experimentos cuantitativos con la mayor precisión que le era posible. Calentó 3 onzas de magnesia alba en una retorta, el determinó que el líquido blanquecino que destiló era solo una parte del peso perdido. El concluyó tentativamente que la mayor parte era debido al aire expelido. ¿De dónde venía este aire? El pensó que probablemente provenía de las cenizas de las perlas con las que se había preparado la magnesia alba; Stephen Hales, a quien él conoció bien, había mostrado tiempo atrás que el álcali fijo (carbonato de potasio) "ciertamente era rico en aire". En ese caso, en la reconversión de la Magnesia Usta al polvo original, por combinación de esta con el álcali fijo el peso original se habría recuperado. Esta prueba la tomo a satisfacción recuperando todo excepto diez granos.
Preguntas de profundización	1. Podrías explicar los cuestionamientos de Black: ¿De dónde venía este aire? ¿Qué se pierde? 2. Si aplicas el principio de conservación de la materia, tal cual se conoce hoy, como se podría explicar la pérdida de materia observada por Black. ¿Qué opinas de la explicación presentada por Black ante los cuestionamientos anteriores? 3. Plantea como recolectarías los gases producidos en el proceso de obtención de la Magnesia Usta. 4. ¿Qué sucedería si en esa época no se pudieran recolectar los gases generados en un proceso de esta naturaleza, en qué cambiaría la interpretación que dio Black sin la posibilidad de recolectarlos? 5. Realiza la lectura de la cuba pneumática y analiza las respuestas dadas a los anteriores interrogantes.
Comentario para el profesor	Se pretende que el estudiante aplique los conocimientos teóricos sobre las reacciones químicas en el análisis del aire que observaba Black, así como en las diferencias de peso. De igual manera se pretende que el estudiante reflexione sobre la conservación de la materia y lo importante de ella para la comprensión total del proceso estudiado. Se espera de igual forma que se analice el papel fundamental de los instrumentos y de la experimentación en la construcción de conocimientos, teniendo en cuenta la evolución histórica de la cuba pneumática como instrumento científico.

Tipología de la actividad	Actividades de estructuración y aplicación
Actividad 07	
Tomando como referencia el siguiente fragmento de la lectura realizada, analiza los cuestionamientos que se presentan a continuación.	
Texto para analizar	Black pronto encontró que la magnesia usta, combinada con ácidos formaba las mismas sales que con la magnesia alba, aunque la usta se disolvía sin efervescencia. Sólo la presencia o ausencia de aire distinguía las dos sustancias: la magnesia alba perdía su aire en combinación con ácidos, mientras que la magnesia usta había evidentemente perdido su aire a través de un fuerte calentamiento antes de combinarse con ácidos. ¿Podría el mismo proceso -la perdida de aire combinado- también explicar la transformación de piedra caliza en cal? Los experimentos tentativos lo sugerían de alguna manera; pero no fue hasta que el trabajo de la magnesia se completó, a finales de 1753, que él examinó esta pregunta. Cuando él precipitó la cal viva por adición de álcali común, el polvo blanco que se fijó tenía todas las propiedades de la tiza, y esta efervescía con ácidos. A comienzos de 1754, Black escribió a William Cullen comentándole que había observado cosas interesantes sobre el aire producido cuando la tiza era tratada con ácido: éste tenía un pronunciado pero no desagradable olor; extinguía la llama de una vela que se encontrara cerca; y "un pedazo de papel encendido, inmerso en este se apagaba como si hubiera estado inmerso en agua". Esta era una observación claramente valiosa. Sin embargo, no pudo posponer más la escritura de su disertación en latín y la preparación del examen de su tesis doctoral.
Preguntas de profundización	1. Explica el proceso subrayado realizando las respectivas ecuaciones balanceadas de las reacciones. 2. Analiza los argumentos de Black frente a la presencia o ausencia de aire en las sustancias, susténtalo en las ecuaciones de las reacciones. 3. Consulta aplicaciones de reacciones de neutralización en la determinación de la concentración de soluciones de ácidos y bases, que patrones primarios se usan para valorar las soluciones antes mencionadas. 4. Las soluciones de permanganato y dicromato de potasio son muy usadas como agentes titulantes clásicos ¿En qué tipo de valoraciones se emplean? ¿Cómo se balancearían este tipo de ecuaciones?
Comentario para el profesor	El objetivo de esta actividad es que el estudiante reconozca los procedimientos que siguió Black para la identificación de las propiedades de la magnesia usta. Así mismo se pretende que reflexione sobre el proceso lógico del químico al estudiar una sustancia nueva, el papel del experimento, del procedimiento material y de los instrumentos científicos, y como los interrelaciona el investigador a la hora de indagar sobre un fenómeno en particular. De igual manera, se busca que los estudiantes reconozcan que aún se emplean las reacciones entre carbonatos y ácidos. En este mismo sentido se pretende que el estudiante conozca que existen otras reacciones cuya característica principal son los cambios en los estados de oxidación de productos y reactivos, estos son el punto de partida para el balanceo de ecuaciones.

Tipología de la actividad	Actividades de estructuración y aplicación
Actividad 08	
Tomando como referencia el siguiente fragmento de la lectura realizada, analiza los cuestionamientos que se presentan a continuación de ella.	
Texto para analizar	La teoría de Black también explicó la producción de álcalis fuertes y caústicos (por ejemplo potasa caústica) preparado por ebullición de la cal viva con una solución de álcali suave. De este modo descubre la causticidad inherente del álcali. Experimentos cuidadosos confirmaron su nueva extensión de su doctrina. Una prueba concluyente de su teoría de la causticidad inherente fue la demostración de Black de que la cal viva y la magnesia usta podrían ser producidas por "vía húmeda", sin el uso de fuego. Él argumentó que si el álcali cáustico es cáustico cuando no se combina con el "aire fijo", este debería separarse de la magnesia a partir de la combinación con ácido y se deposita como magnesia usta. Él lo demostró fácilmente. El realizó un experimento similar con tiza.
Preguntas de profundización	Sugiere las ecuaciones balanceadas de la reacciones químicas en el proceso por vía húmeda que empleo Black para la obtención de cal viva y magnesia usta.
Comentario para el profesor	En esta actividad se pretende que el estudiante analice la teoría que poco a poco Black ha ido construyendo, así como la forma en que él ha ido elaborando sus argumentos, en especial las diferentes reacciones de la magnesia usta para ser producida por vía húmeda. De igual manera se pretende que el estudiante reconozca el concepto de direccionalidad, así como los conceptos de estequiometría y balanceo de ecuaciones. Esta actividad le exige al estudiante el hacer uso de lo aprendido hasta el momento, ya que requiere partir de una situación problémica histórica real para formular las ecuaciones que interpreten de la mejor manera el fenómeno estudiado.

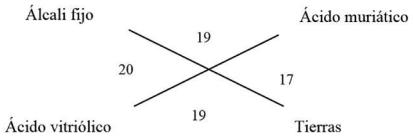
<table>
<tr><th>Tipología de la actividad</th><th>Actividades de estructuración y aplicación</th></tr>
<tr><td colspan="2">Actividad 09</td></tr>
<tr><td colspan="2">Tomando como referencia el siguiente fragmento de la lectura realizada, analiza los cuestionamientos que se presentan a continuación de ella</td></tr>
<tr><td>Texto para analizar</td><td>Este diagrama muestra el comportamiento de ciertas sustancias alcalinas al reaccionar con ácidos, éste fue diseñado por Cullen y mejorado por Black, quien le adicionó los números para indicar la fuerza relativa de atracción entre las sustancias.


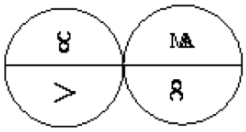
Diagrama 1. Fuerzas atractivas de Cullen y Black
(Ácido muriático: ácido clorhídrico; ácido vitriólico: ácido sulfúrico; álcali fijo: carbonato de potasio; tierras calcáreas: carbonatos).
Posteriormente, utilizó un diagrama consistente en dos círculos segmentados pero sin números, en este ejemplo se designa al aire fijo o mefítico representado por M, el cual se combina con álcali volátil (Cloruro de amonio), 8, y álcali fijo representado por 8 se une por sí mismo al ácido representado por >


Diagrama 2. Fuerzas atractivas de Black</td></tr>
<tr><td>Preguntas de profundización</td><td>1. Teniendo en cuenta nuestro actual sistema de ecuaciones de reacciones químicas ¿Consideras correctas las concepciones de Black para describir el comportamiento de ciertas sustancias alcalinas frente a los ácidos, expresados en los diagramas 1 y 2?
2. ¿Qué crees que quería representar Black mediante el diagrama 2?
3. Compara la representación realizada en la actividad 4 con los diagramas 1 y 2, argumentando similitudes y diferencias.
4. Plantea dos ecuaciones de reacciones que puedan balancearse, selecciona un método de balanceo y aplícalo.</td></tr>
<tr><td>Comentario para el profesor</td><td>Esta actividad pretende que el estudiante analice uno de los primeros ensayos de formulación y escritura de las transformaciones químicas con base en las interacciones de los reactivos. En esta actividad se pueden dar los fundamentos para el estudio de reacciones ácido base, lo cual les permitirá la comprensión y solución de las situaciones planteadas. De igual manera, esta actividad permitirá que el estudiante tenga argumentos para sugerir la posibilidad que una reacción ácido - base tenga lugar fundamentándose en las características de los ácidos y bases, bien sean fuertes o débiles. De igual manera se busca que ellos reflexionen sobre las relaciones entre pensamiento, acciones y lenguaje en la construcción del conocimiento.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>Tipología de la actividad</th><th>Actividades de generalización y aplicación</th></tr>
<tr><td colspan="2">Actividad 10</td></tr>
<tr><td colspan="2">Tomando como referencia el siguiente fragmento del discurso inaugural de Black, el cual explica las reacciones realizadas con la Magnesia Alba (carbonato básico de Magnesio), analiza los cuestionamientos y realiza las actividades que se presentan a continuación de este.</td></tr>
<tr><td>Texto para analizar</td><td>
Discurso Inaugural de Joseph Black sobre la Magnesia Alba
(Publicado en el Journal of Chemical Education en junio de 1934).

Experimento XIII- Se calentó una onza de magnesia en un crisol cubierto con una tapa durante una hora, a una temperatura suficiente para fundir el cobre: cuando el crisol se enfrió la magnesia pesaba tres dracmas y un escrúpulo. Podemos llamar al producto final magnesia usta.

Experimento XIX- Una dracma de ‘magnesia usta’ se calentó suavemente con una onza de agua, en un recipiente cerrado, durante algunas horas; a continuación se pasó el agua a través de papel de filtro y resultó casi sin sabor, no enturbiaba la disolución de mercurio sublimado ni cambió el color del jarabe de violeta. La propia magnesia, una vez bien seca, pesó una dracma y diez granos; mezclada con ácidos no producía efervescencia ni produjo ningún efecto en el agua de cal.

UNIDADES EMPLEADAS EN EL SIGLO XVIII

<table>
<tr><td colspan="4">MASA</td></tr>
<tr><td>1</td><td>grano</td><td>0,0531</td><td>g</td></tr>
<tr><td>1</td><td>livre</td><td>489</td><td>g</td></tr>
<tr><td>1</td><td>dracma</td><td>3,888</td><td>g</td></tr>
<tr><td>1</td><td>pound</td><td>373,2</td><td>g</td></tr>
<tr><td>1</td><td>scruple</td><td>1,296</td><td>g</td></tr>
<tr><td>1</td><td>onza</td><td>30,563</td><td>g</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td colspan="4">VOLUMEN</td></tr>
<tr><td>1</td><td>pinta</td><td>0,953</td><td>L</td></tr>
<tr><td>1</td><td>dracma fl.</td><td>3,55</td><td>ml</td></tr>
<tr><td>1</td><td>mínimo</td><td>0,0616</td><td>ml</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Preguntas de profundización</td><td>
1. Escribe las ecuaciones de cada una las reacciones de los experimentos de Black.
2. Realiza el balance de materia para cada una de las reacciones anteriores.
3. Basado en la estequiometría, compara tu balance de materia con el balance de materia realizado a partir de los datos reportados por Black. ¿Qué análisis puedes generar sobre el papel de la balanza en el trabajo de Black, y la cuantificación en química en sus trabajos?
4. ¿Cuál sería el rendimiento de las reacciones anteriores?
</td></tr>
<tr><td>Comentario para el profesor</td><td>En esta actividad se pretende que los estudiantes apliquen los conocimientos que han estudiado y dialogado en clase en una situación real, específicamente los experimentos de Black, con cantidades específicas, lo cual les puede ayudar a comprender la complejidad de la construcción del conocimiento a través de las relaciones entre el procedimiento material, los instrumentos científicos y el modelo del fenómeno. En el experimento XIX la reacción a tener en cuenta para el balance de materia es la formación del hidróxido de magnesio. Un elemento interesante para tener en cuenta es la precisión en las medidas de Black lo cual pone en evidencia el manejo de la balanza que él tenía y la rigurosidad de su forma de trabajo.</td></tr>
</table>

Tipología de la actividad	Actividades de trabajo práctico experimental, de estructuración y de aplicación
Actividad 11	
Tomando como referencia el siguiente fragmento del discurso inaugural de Black, realiza las actividades que se presentan a continuación de este.	
Texto para analizar	Experimento IX: Se coloca magnesia alba en una solución de mercurio corrosivo sublimado y se aprecia que toma un color ligeramente dorado, el cual lentamente cambia hacia un polvo de color ladrillo rojizo; este polvo rojizo, sujeto a un examen químico mostró ser de tipo mercurioso.
Preguntas de profundización	1. Realiza el diseño experimental para replicar el experimento de Black, de tal manera que se obtenga 0,5 g del precipitado que él reporta. 2. ¿Cuál es el reactivo límite y en qué cantidad se debe encontrar en la reacción? 3. ¿Cuál es el reactivo en exceso en la reacción? 4. ¿Cuál sería el rendimiento de la reacción anterior? 5. Analiza la importancia del papel de la cuba pneumática y de la balanza en el estudio del cambio químico y la estequiometria.
Comentario p*ara el profesor*	Se espera que al finalizar esta primera parte los estudiantes sepan varios aspectos que involucran una reacción química como son: ecuación química, principios de nomenclatura, condiciones de reacción, el concepto de cambio químico, balanceo de ecuaciones (implícitamente el principio de conservación de materia). En este momento ellos deben reflexionar sobre el manejo cuantitativo del cambio químico y la forma como Black lo llevo a cabo, lo cual pueden contrastar con los balances de materia realizados en la actividad anterior y con el experimento de réplica diseñado por ellos y los respectivos resultados.

5. Reflexiones finales

La formación de profesores debe incluir un conocimiento suficiente de la HC que permita comprender la diversidad de funciones que ésta puede desempeñar en la formación (disciplinar, multidisciplinar y humana) de los alumnos. Estas funciones incluyen tanto lo relacionado al 'por qué' como las que se refieren al 'cómo': tanto los contenidos como procesos de enseñanza de las ciencias se enriquecen con la H&F de las C. Pero para que el profesor pueda hacerlas realidad, él mismo ha de haberlas interiorizado y por ende haberlas apropiado; es decir, su concepto de ciencia ha de ser histórico, humano y constructivo. Ha de valorar lo que el conocimiento científico tiene de relato, porque es una actividad humana que se desarrolla a lo largo del tiempo y que necesita del profesor para sobrevivir, de una generación a la siguiente. Por ello, también su profesión de profesor toma sentido bajo el prisma de la historia; y con ello, la función estructurante del lenguaje, sujeta también a la historia.

Los itinerarios y estrategias de formación didáctica de los profesores pueden ser muchos y diversos. En España, la formación de profesores de primaria (que se llevan en exclusiva el honorable título de maestros) incluye poca ciencia y nada de HC. La formación de profesores de secundaria consiste en un master que se cursa una vez se ha obtenido la graduación en una disciplina científica, en el cual hay unos pocos créditos ofrecidos por especialistas en HC (sin F). La formación didáctica de los profesores universitarios es casi inexistente. Sin temor a equivocarnos podemos afirmar que, en ambos casos, en España la formación de los profesores en H&F de la C es insuficiente.

En Colombia, los profesores de primaria se forman en programas específicos, con formación en todas las áreas, con muy poca ciencia y también sin nada de HC. La formación de profesores para secundaria es diferente que en España, ya que ellos se forman en programas creados para ese fin, en donde se forman en ciencias y en su enseñanza, en espacios académicos separados o combinados, según sea el programa académico. La relación de formación en la disciplina científica y en su enseñanza varía en cada universidad, dependiendo del perfil que se desee generar. En algunos programas de formación de profesores se incluye un curso de historia de la ciencia y uno de filosofía de la ciencia, pero son escasos los programas que lo hacen. Ahora hay una tendencia a nivel de ministerios de hablar de formación de profesores ciencias en general y no de profesores de química, física o biología, lo cual implicaría la desaparición de profesores por especialidades. La formación didáctica de profesores universitarios coincide con la situación de España: es casi inexistente, se ha tratado de realizar a través del desarrollo de cursos cortos, de uno o dos meses, pero de forma esporádica y no como un programa de formación continua. Al igual que en España, la formación en H&F de la C de los profesores de ciencias es insuficiente.

En Chile la formación de profesores de primaria o EGB tiene matices según las instituciones formadoras. En ninguno de ellos los docentes reciben formación en HC. La formación de profesores de secundaria consiste en una Licenciatura en Educación en Ciencias (Química, Biología, Física) que se cursa una vez se ha obtenido la graduación en una disciplina científica o bien por acceso directo vía Prueba de Selectividad Universitaria (PSU). En cualquier caso la formación en HC es escasa, incompleta o inexistente. En algunos casos se utilizan los cursos de Didáctica de las Ciencias para incorporar contenidos de H&F de la C. La formación didáctica de los profesores universitarios que participan de procesos de formación de docentes de ciencia del nivel primario o secundario es casi inexistente. Sin temor a equivocarnos, podemos afirmar que, en ambos casos, en Chile la formación de los profesores de biología, química y física en temas específicos de H&F de la C es insuficiente o irrelevante.

En Argentina ha existido desde fines del siglo XIX, en las Escuelas Normales y luego en los Institutos Superiores de Formación Docente, una larga y rica tradi-

ción de inclusión de la filosofía y la historia de la ciencia en la formación inicial del profesorado de ciencias, sobre todo para el nivel secundario, y también para el nivel primario. De hecho, varios de los primeros filósofos e historiadores de la ciencia profesionales de la Argentina, de la época de Babini, Bunge, Sábato o Klimovsky (años '40 a '60 del siglo XX) laboraron en instituciones donde se preparaban maestros y profesores, o eran invitados regularmente a ellas. A partir de la década del '70 esta tradición se fue debilitando y desdibujando, debido al menos a tres factores convergentes: unas reformas de los planes de formación que pusieron mucho énfasis en el saber psicopedagógico en desmedro de la reflexión sobre el contenido a enseñar; un progresivo "ablandamiento" de la formación básica en ciencias, que se redujo e instrumentalizó; y la falta crónica de recursos humanos con la formación adecuada para asumir estos espacios formativos de carácter metacientífico. En los primeros años del siglo XXI se intenta volver a revertir la situación: con la creación del nuevo Instituto Nacional de Formación Docente se acomete un rediseño a fondo de todos los planes y programas de formación docente del país (tanto en Universidades como en Institutos de nivel superior no universitario), y se dicta el requerimiento de incluir en todos ellos un espacio curricular obligatorio y específico de filosofía e historia de la ciencia. A pesar de que aún faltan profesionales preparados para estar al frente de esas aulas de HFC, existen señales de mejora: por ejemplo, se han publicado ya los primeros libros de HFC dirigidos a maestros y profesores en formación.

Debemos pensar pues en otras vías de formación durante el ejercicio profesional, algunas de ellas presentadas en el este capítulo. Aquí se puede dar rienda suelta a la imaginación y aprovechar los muchos recursos de que se dispone, multiplicados en la era digital que va proporcionando sin cesar nuevas posibilidades de actuación. La ventaja es que, al ser ya una formación para docentes, puede incidir tanto en aspectos específicos sobre la docencia desde la HC (que la propia HC olvida) como en aspectos específicos de la DC (que la propia didactología desconoce).

Destacamos algunas de las preguntas de investigación que pueden formularse en relación a la formación de profesores de ciencias en H&F y que se relacionan con lo planteado en el primer capítulo.

- Investigación sobre itinerarios de formación y propuestas: los contenidos de HC en el currículo de formación de los profesores, según las diferentes disciplinas. ¿Por qué la HC tiene más presencia en unas que en otras?
- La historia como 'anzuelo' para la formación didáctica: despertar interés por los aspectos problemáticos de la disciplina, retos que se superaron, la influencia de los instrumentos, los aspectos sociales y valóricos de las ciencias. ¿Qué evidencias tenemos de que la HC interesa a los profesores y

les atrae hacia la DC?

- Proponer actividades dirigidas a los alumnos con diferentes finalidades educativas. ¿Cómo se estructura una buena UD que combina la DC y la H&F de la C?

- Contribución de la HC a la conciencia profesional de 'profesor': comprender que la educación es 'actividad científica' (lo que compartieron los grandes profesores: Lavoisier, Black, Pauling…) y que aporta algo nuevo, específico, a la construcción de conocimiento estructurado y enseñable. Es decir, la enseñanza no se limita a transmitir lo que otros pensaron e hicieron sino que contribuye a construirlo. Podemos pensar incluso, que sin un proceso comunicativo adecuado a las nuevas generaciones, no existirían las disciplinas. ¿Qué ejemplos tenemos, qué aportaron los 'buenos profesores' a la ciencia y a la DC?

- Investigación sobre recursos: lecturas originales recomendadas, instrumentos científicos antiguos, visita a museos. La conservación del patrimonio docente y científico es una tarea que muy a menudo se desatiende: institutos de enseñanza que substituyen materiales 'viejos', que quedan arrinconados o son destruidos, por otros más modernos, que destruyen antiguos 'apuntes' o libretas de alumnos que podrían ser documentos de gran valor para comprender las mediaciones que se producen entre los fenómenos en si, su interpretación en un contexto cultural determinado y su enseñanza, que incorpora otros valores de manera no siempre coherente. ¿Qué vestigios del pasado aportan luz a los profesores para hacerlos conscientes de la importancia del aspecto material (instrumentos de laboratorio, apuntes, esquemas, explicaciones en la pizarra…) de su docencia?

La HC puede aportar a los profesores nuevas ideas en relación a la ciencia que enseñan y a su profesión. Con ello, su concepto de "conocimiento científico" debería cambiar, puesto que su carácter a la vez contextual y con aspiración de perfeccionamiento en el futuro se hace evidente. Con ello, debería ajustar su docencia al 'Principio de indeterminación didáctica': cuanto más preciso, meno comprensible. Se ha de enseñar para ser comprendido (¡hay tantas maneras de decir algo, según el ideal comunicativo que se tenga y sin que por ello se falte a la verdad!) y por ello se ha de 'decir la ciencia' de acuerdo a quienes la aprenden, según una verdad en minúscula que se sabe limitada por los valores que pone en juego y no con la pretensión de decirlo todo con el lenguaje de los que se hallan inmersos en la investigación científica de alto nivel.

El carácter 'educativo' de la ciencia que se enseña introduce un compromiso de futuro (que es el de nuestros alumnos) que ha de ser confiado y esperanzador, como corresponde al enfoque humanista de la ciencia que la H&F de la C proporciona. A pesar de los tanteos, equivocaciones y mezquindades diversas, la 'inteligencia creativa' humana está ahí y tiene mucho que hacer.

Capitulo III. Historia, filosofía, didáctica de las ciencias y prácticas de aula. Una propuesta para re-pensar la enseñanza de la química.

Introducción

Hace ya un par de décadas que nuestra comunidad internacional en investigación en didáctica de las ciencias, viene reportando con diferentes orientaciones teóricas y directrices metodológicas la complejidad que resulta enseñar química para 'comprender el mundo y la naturaleza de la ciencia (Adúriz-Bravo & Izquierdo, 2009). Aun cuando se ha avanzado a diferentes 'ritmos' en las decisiones político-económicas que afectan a las Reformas Educativas, para ninguno de nosotros, resulta desconocido que en nuestros países (América Latina), la química que se 'enseña y aprende'' en la escuela o en las universidades continúa caracterizándose en los planes de estudio y en la formación de profesores como un saber 'erudito' ahistórico (anacrónico) persistiendo así una tradición disciplinar e institucional que configura un *estereotipo o imagen* en el que prima la *supuesta* objetividad, racionalidad, exactitud, precisión, neutralidad y formalización del conocimiento científico, sus métodos e instrumentos, como si las teorías y fenómenos científicos se generaran de manera invariable y sin polémicas o controversias en el tiempo. Ello ha proporcionado a la educación química en los últimos 50 años (particularmente en América Latina) una perspectiva elitista que se manifiesta en nuestros sistemas educativos formales de diferentes maneras. Sólo para citar algunas evidencias:

1. Polémicas y controversias para su 'presencia curricular' en edades tempranas o iniciales del currículo oficial (Quintanilla, Orellana & Daza, 2011).
2. Los 'contenidos' científicos son enseñados habitualmente de manera normativa y desde una perspectiva acentuadamente 'microscópica' en los libros de texto o en las prácticas escolares. (Izquierdo, 2005; Quintanilla, Merino & Cuellar, 2012).
3. La escasa vinculación con el 'mundo real' de los estudiantes (Quintanilla et al, 2014).
4. La química habitualmente está desconectada a los procesos sociales, ciudadanos y políticos (Acevedo, 2004, Bensaude-Vincent, 2000).
5. Los textos de química consideran una historia de la química 'sesgada que omite 'circuitos virtuosos' de producción de conocimiento (Quintanilla, Merino & Cuellar, 2012).

Debido a la propia imagen de ciencia que aún se promueve en nuestras aulas, categórica y dogmática, ¿qué sentido tiene entonces incorporar la historia y la filosofía de la química como un componente metateórico relevante en la formación inicial y continua del profesorado, así como en ambientes de aprendizaje en diferentes niveles educativos? Esa es la pregunta sobre la que quisiéramos reflexionar en este capítulo, intentando problematizar la teoría acerca de la historia de la química y la filosofía de la química en particular, con algunas propuestas de prácticas de aula que hemos venido desarrollando en nuestro laboratorio en la última década. Todas ellas se vinculan a la promoción de competencias de pensamiento científico (CPC), siguiendo una línea de programas y proyectos de investigación que han dado origen a diversos materiales y publicaciones en la última década (www.laboratoriogrecia.cl).

Como se ha venido adelantando en recientes publicaciones (Cabrera & Quintanilla, 2014), para iniciar el desarrollo de este capítulo es fundamental clarificar lo que entendemos por análisis histórico crítico de la ciencia en general y de la química en particular. Esta postura, que ha sido ampliamente fundamentada por investigadores como García (2014) y Fauque (1999), ha tenido una trayectoria marcada principalmente por el estudio de los documentos originales que elaboraron los científicos en cada una de sus épocas. El propósito de este tipo de análisis es profundizar en la búsqueda de las primeras definiciones. No se pretende rastrear ni el origen ni el inicio de una noción o concepto específico, ni identificar los obstáculos o el rechazo hacia una u otra teoría en disputa, en lugar de esto, lo que justificamos es la instauración de un *diálogo* con la comunidad científica utilizando, como estrategia y fuente, los documentos que escribieron en determinadas épocas y contextos, lo que se constituye en una construcción intencionada desde una mirada educativa que favorezca realizar nexos con el conocimiento común (Audigier & Fillon, 1991).

La historia y la filosofía de las ciencias se habían encargado de enfatizar que lo primordial en los procesos y productos de las ciencias son las teorías, descuidando la función que podía promover la experimentación en la generación de conocimiento científico. Sin embargo, con la alerta de Hacking (1996) sobre el significado y relevancia de la intervención, entendida aquí como la experimentación, ha permitido reivindicar su importancia y sobre todo ha constituido un giro hacia su estudio más direccionado. Reivindicar y revalorizar la experimentación devino en una oleada de investigaciones sobre los instrumentos, los procedimientos y los mismos modelos científicos que a través de ella se justificaban históricamente (Quintanilla, Cuellar & Cabrera, 2014).

Por otra parte, en los últimos años diversos autores han insistido permanentemente en discutir la complejidad de los múltiples factores que contribuyen a darle sentido a la ciencia en un texto escrito (Estany & Izquierdo, 1990). Desde esta perspectiva, la historia de la ciencia pretende alertar a los profesores sobre la necesidad de una aproximación fenomenológica de las representacio-

nes, concepciones y creencias que pueden ser útiles en los libros de química para que las teorías científicas que se enseñan adquieran sentido y valor en quienes las aprenden y en quienes las enseñan (Quintanilla & García, 2005; Quintanilla 2006a). Los estudiantes (y profesores de química) *necesitan saber con qué y cómo* se relacionan dichos modelos teórico-conceptuales con la historia de la propia humanidad, y lograr así confrontarlos con situaciones de su vida cotidiana o mundo real o, mejor aún, con situaciones de la vida real en otros momentos del desarrollo de la actividad científica (Giere, 1992,1994). Haciendo uso de una analogía planteamos que la historia de la química se ha de convertir en un vehículo para formar a los profesores y desarrollar así su pensamiento científico (Cuellar, Quintanilla & Márzabal, 2012). La finalidad es que el desarrollo del pensamiento científico en general y la nueva óptica para 'mirar' el desarrollo de la química, como conocimiento 'docto, especializado o erudito' se refleje 'teóricamente' en la manera en que los libros de texto, planes de estudio, modelos de formación docente, currículos oficiales, abordan, comunican y divulgan las teorías científicas al estudiantado contribuyendo a una idea ciudadana de la química que a la vez sea la justificación formal para promover competencias de pensamiento científico (Quintanilla, 2011).

Como lo hemos reiterado en nuestro último libro recién publicado en Colombia y socializado en Santiago de Chile con motivo de la celebración del 3º IHPST-LA en el que sistematizamos orientaciones teóricas y metodológicas sugiriendo prácticas de aula razonables (Quintanilla, Merino & Cuellar, 2012), resulta evidente que la historia de la química promueve una mejor comprensión de las nociones y métodos científicos; los diferentes enfoques históricos o corrientes que se han sistematizado en los últimos años conectan y evalúan adecuadamente el desarrollo del pensamiento individual con el desarrollo de las ideas científicas en momentos y circunstancias particularmente interesantes de la historia humana (Nieto, 2014). Consideramos además que la historia de la química es necesaria y útil para comprender la naturaleza de la ciencia y cuestiona con argumentos potentes, el cientificismo y dogmatismo que todavía es común encontrar en nuestras clases y textos habituales de enseñanza de la química.

Al examinar con prolijidad e intencionalidad epistemológica la vida y épocas de científicos(as), la historia de la química 'humaniza' los contenidos propios de la ciencia que se divulga y enseña. 'Emocionan' los episodios 'desconocidos, evadidos, omitidos u olvidados, acaso intencionadamente. Generan 'identidades' que reconfiguran sentidos y significados en los cuales 'sentimientos, afectos y lenguajes' reconocen en las individualidades y talentos nuestras propias limitaciones, esperanzas y sueños. Es de esta manera, audaz, inequívoca y a veces provocadora, como los formalismos propios de la química, de ese mundo microscópico que se enseña, trascienden de sus axiomas unívocos e infalibles tal y cómo se han concebido y enseñado, hacia visiones que demandan

retos intelectuales valiosos como aprender a argumentar, explicar y justificar el conocimiento científico (Cuellar, 2010; Camacho & Quintanilla, 2008).

Finalmente, la historia de la química nos permite conectar la ciencia específica con tópicos y temas relevantes de cada disciplina y también con otros saberes simples o complejos, siempre inacabados e incompletos, integrando la natural interdependencia del conocimiento humano de una manera compleja, heurística y a la vez, más valiosa para el desarrollo del pensamiento, más interesante para la enseñanza y el aprendizaje de la química.

Por otra parte es de interés para este capítulo el vínculo 'natural', nos parece entre la historia de la ciencia y la filosofía de la ciencia. Para García & Estany (2010) *es opinión prácticamente unánime que la química ha sido la gran olvidada por parte de la filosofía de la ciencia. Diversos trabajos en las últimas décadas se han preguntado por las razones de tal omisión. El objetivo de este artículo es doble: por un lado, analizar las principales razones de esta falta de interés por la química; por otro, proponer una serie de retos a los que la filosofía de la química debe enfrentarse en el siglo XXI*. Por su parte, autores como Chamizo (2014) señalan que a pesar de la larga historia de la química, su filosofía es prácticamente una nueva actividad intelectual. Sólo hasta hace poco más de una década aparecieron las primeras revistas especializadas en el tema (Hyle y Foundations of Chemistry), en las cuales se reflexiona sobre muchos asuntos, como el de los modelos y el de la relación con la educación (Chamizo, 2010). Hoy en día, agrega el eminente químico mexicano, que *respecto a los modelos hay que hacer notar que se discute filosóficamente su autonomía respecto a las teorías fundamentales de las ciencias lo cual permite, como ya se indicó de otra manera, explicar la química sin recurrir a la física* (Labarca & Lombardi, 2013; Chamizo, 2010).

1. ¿Qué polémicas nos parecen valiosas para nuevos desafíos en la enseñanza de la química, considerando la HC como estrategia e instrumento?

En las últimas décadas, diversos estudios persisten, y estamos de acuerdo en ello, en señalar que la perspectiva del análisis histórico y filosófico se halla ausente de la enseñanza de la química en particular y de la formación científica y docente en general. Al respecto, autores como Talanquer (2010) insisten en que *el desarrollo de los currículos de química se beneficiarían de un análisis más cuidadoso de lo que la historia y filosofía de esta disciplina nos dicen sobre su naturaleza*. Por ejemplo, ¿qué distingue a la química de la física? ¿Qué preguntas nos parecen relevantes para promover la reflexión sobre el desarrollo y aplicación del conocimiento químico y su enseñanza?; agrega *¿qué dilemas éticos y morales conlleva el hacer química o el hacer uso de los productos de la química?* La necesidad de un debate didáctico acerca del papel de la HQ y la FQ en la Didáctica de la Química (DQ) nos demanda la emergencia de nuevos proyectos curriculares que adopten una nueva idea de la química

vinculada con los problemas del mundo para poder, a partir de allí, colaborar con la natural articulación entre el desarrollo del pensamiento y del conocimiento que hemos venido desarrollando en nuestras últimas investigaciones (Quintanilla et al, 2012, 2014). Este 'eslabón perdido de la química' (metáfora atrevida de nuestra parte) contribuiría a valorar la química como una actividad profundamente humana conectada a valores, culturas, emociones y lenguajes que se ponen en disputa en todo proceso humano teóricamente intencionado al hacernos la pregunta ¿emociona la química en el aula? (Izquierdo, 1996).

De esta manera, queda en evidencia que el profesorado de química y también un número no despreciable de divulgadores de la ciencia tales como medios de comunicación masivos, museos de ciencia, entre otros, transmiten una imagen de la química perniciosa y 'perjudicial', una ciencia reduccionista y restrictiva bastante 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 contextos (Echeverría, 2002; Shapin & Barnes, 1977).

Como consecuencia de lo anterior, se puede predecir en gran medida a partir del sentido común que los diferentes públicos de la ciencia, estudiantes, profesores, expertos y legos, persisten en una representación deformada de la naturaleza de la química, su objeto científico y métodos de investigación. Del mismo modo, de cómo se construyen y 'evolucionan' (término controversial en filosofía de la ciencia) los conocimientos científicos, lo que en algunas ocasiones, sino en la mayoría, promueve una actitud de rechazo permanente hacia las materias científicas propias de la química, dificultando su comprensión y aprendizaje.

Como comunidad de investigadores/as en didáctica de las ciencias en general y de la química en particular hemos llegado en las últimas décadas a ciertos consensos teóricos derivados de la investigación de que 'nuestra disciplina' se traduce en un proceso complejo y permanente de constitución y 'reconfiguración' de dimensiones no sólo teóricas y metodológicas, sino que también históricas y filosóficas (Labarca & Lomardi, 2013; Adúriz-Bravo, Quintanilla & Manrique, 2014). En consecuencia, resulta entonces relevante valorar y promover la incorporación de la *historia y la filosofía de la química* en los procesos de formación inicial y continua de profesores de ciencia y también de científicos. Esta vinculación que se ha hecho imprescindible en los nuevos currículos de formación de profesores de química (Álvarez-Lires,1999) y debidamente justificada por los marcos teóricos más recientes nos 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, metodologías e instrumentos disponibles en ese momento en la comunidad científica (Chamizo, 2014; Quintanilla, 2011).

Admitir razonablemente 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 en nuestras clases de química. Al suponer que la historia de la química en particular se justifica *sólo si aporta algo* al presente, existe el riesgo de caer tanto en el *idealismo* como en un *pragmatismo* extremo sin valor para la enseñanza y el aprendizaje. 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 uno mismo, la hace interesante y valiosa tal y como lo hemos venido adelantando en otras publicaciones (Izquierdo *et als*, 2014; Quintanilla et al., 2014).

Hemos señalado en otros estudios que Bachelard (1993) [8] propuso el término 'historia recurrente' o 'historia sancionada' para referirse a una historia del pasado evaluada según los valores de la ciencia actual (Nieto, 2014). Si esta interpretación la orientamos a la historia de la química, es 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. Sin embargo, esto puede llevarnos a la 'incapacidad' de no explicar episodios de la ciencia en general y de la química en particular, que han resultado falsos 'con los ojos de hoy y de ayer' y a distorsionar en profesores y estudiantes de manera importante el significado de la actividad científica en la escuela o en la formación profesional al vincularla exclusivamente al éxito de 'héroes' y 'heroínas (Solsona, 2014,1997).

Aún más grave, podría resultar el `comunicar o relatar' la ciencia como un proceso que avanza sin cesar, dejando de lado las supuestas desviaciones de este paseo triunfal en diferentes culturas y circunstancias (Izquierdo-Aymerich et al, 2014). No hay 'una verdad', sino que hay 'verdades'. Si bien el modelo atómico de Niels Bohr fue un eslabón histórico y filosófico muy valioso para el desarrollo de la mecánica cuántica, pronto comenzó a *evidenciar inconsistencias teóricas* cuando se lo aplicó, entre 1913 y 1925, a átomos multielectrónicos y a moléculas complejas (Lombardi & Labarca, 2007). La formulación definitiva de la mecánica cuántica a fines de la década de 1920 -de la mano de Schrödinger, Heisenberg, Born y von Neumann, entre otros- modificó sustancialmente la concepción inicial de los electrones en el átomo: ahora los electrones se disponían alrededor del núcleo en tres dimensiones. ¡Esto era imposible de comprender según las teorías vigentes, aunque la matemática disponible podía predecirlo! Además, según el Principio de Indeterminación de Heisenberg, los electrones dejaron de concebirse orbitando alrededor del núcleo en trayectorias definidas. Ello fue una controversial discusión que es

8 Citado por Izquierdo-Aymerich *et als,* 2007

interesante y polémica de interpretar y resignificar en la excepcional obra de teatro de Michael Fryan, *Copenhague*.

2. ¿Por qué una noción naturalizada de la química como ciencia experimental puede ser útil para incorporarla en las prácticas de aula?

Así y todo, para dar una respuesta *racional y razonable*, coherente en este sentido con una historia de la química 'compleja, heurística e interesante', polémica actualmente por las llamadas 'teorías de frontera' con la física (Talanquer, 1990) la hipótesis que sustentamos en este capítulo, es que hemos de plantear y debatir el origen histórico, controversial y acaso desdibujado e incompleto, de las principales *teorías de la química*; mostrar y discutir 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 en todas las épocas. Analizaremos así la complejidad de las relaciones que se establecen hoy entre las llamadas *tecnociencias* que incluye a la didactología y otras ciencias con las diversas implicaciones 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 (Estany & Izquierdo-Aymerich, 1990; Vallverdú, 2002).

Esta idea de enseñanza de la química y desarrollo de sujetos competentes desde una orientación de ciudadanía y valores permite *releer* marcos teóricos diversos que aprendimos de manera restrictiva en nuestro rol de 'estudiantes' y que luego reproducimos en la enseñanza en nuestro rol de 'profesores de ciencias'. La reconfiguración de sentidos y de las finalidades de la educación química hoy nos resulta relevante y potente para interpretar *problemas y fenómenos científicos* que *hoy comprendemos bien* y que se explican mediante teorías vigentes, por ejemplo la teoría cuántica a la que hacía alusión en los párrafos anteriores sigue reconstruyéndose, siendo la 'partícula de Dios', *su última estrella filosófica* (Lederman, 1993).

Sostenemos firmemente que estas relaciones 'dinámicas' entre la H&F y la Q nos permite además de conocerlas, 'comprender' las naturales vinculaciones que se establecen entre la ciencia y la cultura; la ciencia y los valores; la ciencia y el lenguaje, analizando y caracterizando de esta forma la influencia de estas relaciones en el desarrollo y consolidación (y también las crisis) de una sociedad determinada que comparte unas finalidades que se resignifican sistemáticamente (Kragh, 1990; Quintanilla, Solsona, Lires & García, 2014). Referimos así a la ciencia como *una actividad humana* que contribuye a la compleja comprensión (y aprendizaje) de la química y simultáneamente al desarrollo del pensamiento. Ello conlleva interpretar 'con teoría' los 'hechos

del mundo' en una compleja red de dimensiones teóricas, instrumentales, culturales, emocionales y lingüísticas (Sutton, 2001). Así, propiciar la promoción de competencias de pensamiento científico (CPC), utilizando la historia y la filosofía de la ciencia como instrumento y fundamentación tecnocientífica es un verdadero reto intelectual que tiene su desafío más demandante en la formación de profesores de química y en la consideración de la H&F de la C en la formación inicial y continua de profesores (Alvarez-Lires, 2014)

Desde esta mirada que enfatiza el carácter profundamente humano de la ciencia, las teorías científicas describen 'razonablemente' como es realmente el mundo (Toulmin, 1972). Esto significa que las 'cosas o entidades', se pueden caracterizar generalmente por sus propiedades específicas, estructura y función: sustancias, elementos, animales, vegetales, tipos de energía, etc. Según este principio las teorías en química son descripciones de lo que pasa en el mundo real. Como insistiremos en más de una ocasión, nos parece que es una postura mucho más estimulante en 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 v/s Arrhenius y su explicación de la Teoría ácido –base), provocando la duda acerca de cuál de las dos interpretaciones es 'más real'. En este sentido Chalmers (1999) 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 de instrumentos y métodos científicos similares para comprenderlos 'con los ojos de ayer y de hoy'.

Ronald Giere (1992a) nos propone 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 los propios científicos. Se plantea así la *racionalidad* del químico *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, dependerían del juicio del científico y del contexto cultural en el que se analizan en cada momento de la historia. 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 química*, 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 profundamente humana y por lo tanto de su 'natural' desarrollo histórico. Esto significa en definitiva, que la relación entre un *modelo teórico de la química y el mundo real* es compleja, ya que el primero es un objeto formal y no 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. Este 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, 1992,1994).

3. ¿Es posible una Didáctica de la química orientada desde la HQ y la FQ?

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 concepciones, corrientes imperantes y maneras de comprender el mundo, considerando además las experiencias del sujeto que aprende en situaciones intencionadas de su propia cultura e historia de vida. En general, la química que se *enseña* desdibuja su propia historia al concebirse en la enseñanza como ahistórica. Se configura así un estereotipo de ciencia en el que se prima la supuesta objetividad, racionalidad, exactitud, precisión y formalización matemática, como si los conceptos y fenómenos científicos se generaran de manera invariable, es decir, carentes de la argumentación y complejidad histórica de su génesis, construcción y desarrollo (Izquierdo-Aymerich, Quintanilla, Vallverdú & Merino, 2014). Nuestra cultura tecnocientífica (en términos de Echeverría, 2003) ha cambiado de manera vertiginosa en las últimas décadas. Hoy se tiene en cuenta en los proyectos educativos, culturales y de divulgación (programas televisivos como el *History Channel*) y las agendas políticas de los diferentes organismos que deciden acerca de políticas públicas en educación científica y ciudadanía.

Perfilar entonces la incorporación de la historia y la filosofía de la química en la enseñanza y en la formación docente y científica (inicial y continua), nos demanda desafíos metodológicos teóricamente fundamentados desde la didáctica de las ciencias y la epistemología. Proporciona 'razonablemente' al profesor directrices para que pueda diseñar, aplicar y evaluar el currículo, las actividades, las estrategias y los medios de transmisión y comprensión del *saber docto*, 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-Aymerich et *als*, 2006). 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 no es enseñanza científica (Izquierdo-Aymerich,1996). En el otro extremo, trabajar los componentes teóricos de la historia y filosofía de la química desde una ciencia formalizada que da lugar a 'prácticas de aula' cuyo

norte sea el aprendizaje de signos, fórmulas y símbolos, desvinculada de los fenómenos complejos del mundo real, exclusivamente instrumental, tampoco es hacer química; y en este caso, ni siquiera motiva para comprender la historia y filosofía de la ciencia con todas sus debilidades y fortalezas (Crombie, 2000, Quintanilla, Daza & Cabrera, 2014).

4. ¿Qué riesgos enfrentamos como profesores de ciencias al considerar una historia y filosofía de la química 'hagiográfica'?

La historia y la filosofía de la química a la que estamos haciendo referencia, no es por tanto sólo una sistematización de fechas o de hechos. Resulta evidente entonces para esta reflexión el enorme valor connotativo y denotativo del lenguaje y de los modos de comunicar y divulgar la historia y filosofía de la química. Es necesario destacar, en este sentido, que *escribir bien* en química, no es consecuencia automática de haber actuado convenientemente o haber entendido correctamente lo que el profesor de ciencia 'habla o escribe'.

El aprendizaje de la química en los diferentes niveles educativos (escolar, profesional) está vinculado con la evolución (no lineal) y diferenciación (desarrollo) 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, Bohr y von Neumann) y que estos desarrollos sólo son posibles a través de la interacción social y educativa debidamente intencionada. En consecuencia, en las llamadas prácticas de aula, es el lenguaje y su retórica problematizadora el medio estratégico por el cual se expresa el pensamiento del profesorado de química y es esta comunicación (habla, narración, discurso) la que promueve modificaciones y matices cognitivo lingüísticos en las ideas que expresa el estudiantado (argumentación, explicación, justificación, entre otras).

5. ¿Qué H&F de la Química nos 'seduce'? Sugerencias y propuestas para el docente.

Si una de las funciones esenciales de la escuela es educar en ciencias para una cultura ciudadana, debemos pensar en la necesidad de crear los ambientes cognitivo lingüísticos, culturales y sociales que favorezcan y promuevan la comunicación de ideas científicas para que nuestros estudiantes también aprendan '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 generar conjeturas 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 los libros de texto, para traducir las preguntas, las explicaciones, las dudas, que surgen de la vida cotidiana en términos de significados compartidos y que no son necesariamente las mismas que han preocupado al científico 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).

En este sentido, la manera como es abordada en la actualidad la enseñanza de la química, conlleva una comprensión desarticulada de los modelos explicativos de los fenómenos, los instrumentos y las acciones que los docentes en formación inicial deberían adquirir sobre el conocimiento químico. Estos tres aspectos pueden identificarse constantemente a través de la historia de la química; por ende, el análisis histórico crítico de un caso particular de la química podría servir para identificar aportes mediante los cuales se avance hacia su integración y que favorezcan la adquisición de dicho conocimiento por parte de esos docentes. Para ejemplificar lo que se acaba de decir nos ubicaremos en el análisis de los textos históricos con la finalidad de valorar los relatos y las producciones escritas como recursos que permitan identificar y orientar preguntas esenciales que favorezcan la adquisición de conocimiento químico escolar (CQE).

6. *Una propuesta desde el análisis de la reconstrucción de textos históricos para ser incorporadas a las prácticas de aula*

Se ha planteado en análisis similares que existe una nueva tendencia en el caso de la investigación en didáctica de las ciencias que consiste en la revisión y análisis de textos históricos científicos con el propósito de identificar las preocupaciones, preguntas, inquietudes, valores, experimentos, procedimientos, fenómenos, instrumentos, materiales y modelos explicativos que eran inherentes a los científicos que participaron en el desarrollo de las ciencias. Como ejemplo, el estudio de las *Memorias* de Lavoisier sirvió para identificar los elementos estructurales que hicieron parte de los experimentos que el realizó. Sin embargo, esta información está ausente o ha sido olvidada en la actualidad ya que no es valorada en los procesos de enseñanza de la química que se llevan a cabo en las universidades donde están formándose actualmente los docentes (Cabrera & Quintanilla, 2014)

Si recuperásemos información a partir del estudio de los textos histórico científicos, como por ejemplo, el diseño y uso de instrumentos y el desarrollo de procedimientos alternativos, podremos ofrecer oportunidades alternas para la adquisición de conocimiento teórico experimental, utilizando así los libros de texto como uno de los tantos instrumentos en las **prácticas de aula**. Veamos algunas directrices al respecto.

6.1. Algunas implicaciones didácticas del uso de la H&Fde la Q en las prácticas de aula

a. Es **significativo y valioso** continuar realizando y complementando este tipo de análisis histórico, con el propósito de construir un panorama del

conocimiento químico, en el que se incluyan otros científicos y nuevos experimentos históricos conducentes a la *selección de contenido químico universitario*. Estos deberán ajustarse a los intereses y necesidades de los futuros docentes en ciencias naturales para que exista una sincronía entre los tres actores del sistema didáctico: docentes – contenido – estudiantes.

b. Acudir a la historia y filosofía de las ciencias en general y de la química en particular le servirá a la didáctica de la química para complementar lo que tradicionalmente se ha considerado como enseñanza *de* química con la enseñanza *sobre* la química. Es decir, se debe articular lo que se debe enseñar y aprender sobre conocimiento químico con los contextos a los que pertenecen los futuros docentes de ciencias naturales y así se orientarán procesos de formación en los que se favorezca el desarrollo de competencias cognitivolingüísticas y sobre todo se articule el pensamiento, la acción y el lenguaje (Cabrera & Quintanilla, 2014).

c. Finalmente, si se lleva a las clases de ciencias y en este caso a la enseñanza de la química el estudio de este tipo de textos históricos, los estudiantes podrán apreciar la creatividad, originalidad e imaginación en la elaboración de materiales y los misterios que encierra el diseño de experimentos, los cuales investigados desde una mirada educativa motivante intelectualmente, servirán tanto para su propio aprendizaje como para el diseño de propuestas alternas de enseñanza, mejorando así la calidad del pensamiento y valorando a la química como una disciplina profundamente humana que nos permite interpretar e intervenir en el mundo.

6.2. ¿Qué ejemplos de prácticas de aula pueden resultar desafíos intelectuales valiosos para los estudiantes?

Para lograr que las contribuciones anteriores sean posibles en el marco de la divulgación y la enseñanza, se pueden proponer "*prácticas de aula*" debidamente fundamentadas según los marcos teóricos que hemos venido discutiendo y adelantando en el presente capítulo, tales como las que se exponen continuación.

- **Explicar historias contextualizadas**, que pueden ser utilizadas desde un punto de vista educativo-filosófico para introducir conceptos científicos complejos, para motivar, para promover determinadas actitudes y valores hacia la ciencia, para relacionar conocimientos de diferentes áreas de la ciencia (química, física, historia, filosofía, economía), fundamentando así el carácter interdisciplinario de la docencia y la divulgación científica. Algunos ejemplos interesantes pueden encontrarse en YouTube a propósito de Paracelso. En el campo de la alquimia, se decía que Paracelso había sido el ´primer filósofo de la ciencia' quien logró transmutar el plomo en oro a través de métodos alquímicos. También pronto se hizo famoso al afirmar que había logrado crear un homúnculo, es decir un "hombrecillo" creado

artificialmente por medio de la alquimia, mientras intentaba encontrar la piedra filosofal. Era además afín a la filosofía hermética y todos sus estudios estaban relacionados con el saber hermético.

- Comprender la HQ a través del **cine o dramatizaciones de situaciones históricas,** de debate en las cuales los alumnos y alumnas puedan argumentar razonablemente sus ideas. Por ejemplo, un grupo de la clase será partidario de las ideas de Dalton, en tanto que otro grupo, defenderá las ideas de Berthollet. La obra de teatro de Michael Fryan, adaptada por uno de nosotros para tercero de secundaria de acuerdo a los planes de estudio de enseñanza de las ciencias vigentes hasta ahora en Chile, es una ficción basada en los diálogos sostenidos en la primavera de 1941 por Bohr y Heisenberg que nos resulta interesante y útil para la finalidad de debatir con los alumnos el rol de 'maestro' y estudiante, 'ciencia, ciudadanía y valores', ciencia y política' y 'ciencia e ideología' (Kragh, 1990).
- Intentar **repetir experimentos históricos**, haciendo ver cuáles eran las ideas científicas en el tiempo que se postularon, las estrategias de divulgación que se utilizaron, las posibilidades de interpretación que se tenían con los instrumentos disponibles y la utilidad de las mismas para el avance teórico, superando así las limitaciones de un análisis centrado sólo en si las teorías científicas "eran verdad o no lo eran" en determinadas épocas. Por ejemplo, reproducir el experimento de Alexander Fleming sobre el 'moho del pan' que dio origen posteriormente a la penicilina, que salvó muchísimas vidas a comienzos del siglo 20 y se transformó en uno de los aportes más significativos para la medicina, al controlar enfermedades mortales como la sífilis que azoló Europa hasta las postrimerías del siglo 19.
- **Identificar y describir instrumentos o métodos experimentales** mediante láminas o esquemas obtenidos de diferentes reproducciones en revistas de divulgación, libros de texto o sitios en internet. Y reflexionar con el estudiantado sobre los materiales con que fueron elaborados, cómo se divulgaron, qué aportaron a la comunidad científica, las ideas que suscitaban o las polémicas que promovían en la época en que se construyeron y utilizaron y las finalidades científicas de quienes los utilizaron.
- Uso de **biografías que muestren los aspectos humanos** de las ciencias y el conjunto de valores (individuales y sociales) en los cuales se desarrollan y que normalmente omiten o desdibujan los libros de texto, el currículo y las revistas de divulgación. Por ejemplo ¿los científicos y científicas siempre tuvieron recursos suficientes y ambientes adecuados para investigar? Si no fue así ¿cómo se las ingeniaron? ¿Qué problemas personales conspiraron para que sus estudios fueran enseñados o divulgados? ¿Cómo enfrentaron los problemas para continuar desarrollando sus investigaciones? (Cuellar, Quintanilla & Marzabal, 2012)

- Mostrar a los alumnos, **situaciones históricas de crisis y duda** que permitan ver que el conocimiento científico no es un dogma ni una historia de buenos y malos científicos o científicas. Por ejemplo los planteamientos de Guy Lussac acerca del atomismo ¿influyeron en la aceptación de la Teoría de John Dalton? ¿De qué forma? ¿A qué situaciones complejas se enfrentaron? ¿Cómo las asumieron y resolvieron?

- **Promover el análisis de 'entramados o tejidos históricos' (políticos, geopolíticos, sociales o económicos)** que favorecieron o no el desarrollo y divulgación de la ciencia, sus problemas, instrumentos, etc. Por ejemplo ¿Cómo se divulgaron las ideas de J. Dalton mientras vivió y posteriormente a su deceso? ¿Qué acontecimientos históricos influyeron para que buena parte de sus escritos se perdieran? ¿Qué consecuencias tuvo ello para la historia y divulgación de la química? Un caso paradigmático ha sido en los últimos años el problema del plomo y del arsénico en el norte de Chile, que ha generado grandes conflictos con las mineras trasnacionales y controversias en el Congreso de La República.

- **Leer textos históricos expresamente seleccionados** como se hace habitualmente en la clase de literatura haciendo ver al estudiantado que los libros siempre se escriben pensando en quien los ha de leer y que reflejan los valores y cultura de una época. Al respecto, no se requiere de grandes fuentes bibliográficas, ya que actualmente se puede acceder a imágenes y textos originales de gran calidad científica.

6.3. La historia de las sustancias en fase gaseosa. Una 'seducción filosófica e histórica'

Una posible propuesta que se ha de articular en el ciclo de aprendizaje constructivista es introducir la *historia de las sustancias en fase gaseosa* (gases), trabajando nociones animalistas y sustancialistas con un texto o relato sugerido para el profesor, que propicie la promoción y desarrollo de competencias de pensamiento científico (CPC) como la argumentación, la explicación o la justificación. Para ello se trabaja el texto con un protocolo de preguntas problematizadoras u orientaciones didácticas para el aula, que deberá consignar *como eje de la práctica de aula el debate y cómo condición, un ambiente de aprendizaje favorable al diálogo, la tolerancia y el uso de otros materiales* y recursos complementarios (cine, sitios web fotografías, música, etc.). Enseñar a pensar y a sentir la producción de conocimiento en la historia, promueve también el desarrollo del propio pensamiento acerca y sobre la naturaleza de la ciencia.

Textos y narraciones históricas sugeridas para el profesor

Este es el ejemplo de 'práctica de aula' que hemos seleccionado y desarrollaremos brevemente a continuación. Se incluye un texto para que el profesorado

introduzca y oriente sistemática y paulatinamente la '*noción de sustancia en fase gaseosa*', utilizando información histórica y filosófica desde las civilizaciones antiguas. La finalidad es que la historia y filosofía de la ciencia contribuya a problematizar ideas alternativas que coexisten en el pensamiento científico del estudiantado. Es una adaptación libre que incluye controversias y discusiones.

Orientaciones didácticas para la práctica de aula.

El texto se denomina *Volver a la historia acerca de las sustancias en fase gaseosa. Comprendiendo la idea de animismo y sustancialismo.* Está distribuido en 19 narraciones que intentan sistematizar, aunque de manera incompleta, el desarrollo del pensamiento y conocimiento sobre las sustancias en 'fase gaseosa', las que pueden ser abordadas independientemente y que reproducen conocimientos históricos y filosóficos que, según las finalidades de la clase, pueden realizarse y ajustarse según la estructura del sistema didáctico, el tiempo disponible y otros materiales complementarios (audiovisuales por ejemplo) que el profesor estime pertinentes.

Objetivos para el profesorado.

El propósito fundamental es contribuir a desarrollar *competencias de pensamiento científico* (CPC) como la *argumentación, la explicación y la justificación*. A continuación detallamos cada una de las 'narraciones' con sugerencias de preguntas para que el profesorado decida orientar la tarea reflexiva a la que hacíamos alusión anteriormente.

Contenidos vinculantes con la ´práctica sugerida' o modelos teóricos de la ciencia

En este ámbito, la vinculación natural de la propuesta dependerá del nivel en que se proponga la actividad, los conocimientos previos de los estudiantes (y del profesor), el tiempo disponible para trabajar los relatos de manera independiente o sucesiva, disponibilidad de otros recursos complementarios tales como películas, libros de texto, instrumentos de laboratorio, prácticas experimentales, etc. Los relatos referidos (adaptaciones libres nuestras) permiten vincular el modelo de cambo químico, el modelo de partícula, el modelo de ser vivo, la noción de sustancia y elemento, modelo de átomo, entre otros.

Metodología sugerida para el profesorado

Trabajo individual y o grupal dependiendo de las condiciones del aula, las finalidades de la actividad de aprendizaje y evaluación. Si se considera el Ciclo de Aprendizaje constructivista (CAC), es recomendable utilizar los relatos para introducir nuevos conocimientos.

Nivel o rango etario

Segundo ciclo de primaria (13-15) y/o Primer ciclo de secundaria (14-16)

La historia de las sustancias en fase gaseosa. Una 'seducción filosófica e histórica'

Tipología de la narración y código	**Texto Introductorio T01**
Narración sugerida	
Al parecer la palabra 'gases' inicialmente llamada "aire" fue planteada en sus inicios principalmente por la cultura griega en su etapa jónica, en la cual los filósofos de la naturaleza se destacaban por especular el sentido materialista acerca del modo cómo se originó el mundo y la manera como ha evolucionado y desarrollado el pensamiento. Generalmente con respecto a estas ideas, se acepta que fueron difundidas por Aristóteles, quién influenciado por las ideas de Tales de Mileto, Anaximandro, Anaxímenes, Heráclito y Empédocles, se propuso profundizar en ellas. Tales de Mileto consideraba que todas las cosas estaban constituidas originalmente por el 'elemento' agua, del cual se formaron la tierra, el aire y los seres vivientes; Anaximandro y Anaxímenes, discípulos de Tales, ampliaron su hipótesis para explicar un mayor número de fenómenos. Establecieron que además de la tierra y el fuego, el vapor era un elemento. Heráclito de Efeso consideraba al fuego como elemento principal debido a su actividad, capaz de transformar y producir todos los fenómenos del mundo sensible. Empédocles (sucesor de esta escuela de pensamiento) demostró por medio de un experimento que el aire "invisible" es una sustancia material.	
Competencia de Pensamiento científico propuesta	**Explicación**
Preguntas sugeridas para problematizar	¿Cómo explicarías los diferentes puntos de vista de Tales de Mileto y sus discípulos en relación a la visión de Heráclito en relación a la idea de elemento?

Tipología de la narración y código	**Texto Introductorio T02**
Narración sugerida	
Aristóteles propuso su teoría a partir de la contemplación del universo, que para él resultaba esférico y finito, siendo la Tierra su centro. La parte central del universo, según este pensador, estaba compuesta por cuatro elementos: tierra, aire, fuego y agua. Cada uno de estos elementos tiene para Aristóteles, un lugar específico en la naturaleza, determinado por su peso relativo o "gravedad específica", moviéndose de forma natural en línea recta según estas propiedades (por ejemplo, la tierra hacia abajo, el fuego hacia arriba), deteniéndose en algún momento alcanzando la estabilidad, resultando así que el movimiento terrestre siempre es lineal y acaba por detenerse. Los cielos, sin embargo, se mueven de forma natural e infinita siguiendo un complejo movimiento circular, por lo que deben, conforme con la lógica de Aristóteles, estar compuestos por un quinto elemento, que llamaba aither, elemento superior que no es susceptible de sufrir cualquier cambio, que no sea el de lugar y siempre realizado por un movimiento circular.	
Competencia de Pensamiento científico propuesta	**Explicación**
Preguntas sugeridas para problematizar	A partir del texto ¿Cómo explicarías el desarrollo de la noción de elemento en el pensamiento de Aristóteles?

Tipología de la narración y código	Texto Introductorio T03
Narración sugerida	
Con el desarrollo del pensamiento acerca del conocimiento científico se fue configurando inicialmente una idea acerca del átomo, a partir de la cual se propone la noción o idea de 'gases o aires' como elementos que conformaban las sustancias. Demócrito imaginó un universo formado por innumerables partículas indivisibles a las que llamó 'átomos' (sin división) los que se moverían en el espacio vacío. El poeta romano Lucrecio en su obra De Renum Natura (De la naturaleza de la cosas) reconoce de igual modo la existencia de un vacío y un lleno en donde ciertos cuerpos poseen la capacidad de circular allí eternamente. En consecuencia, no es posible que estos cuerpos se dividan o fragmenten, ni sean destruidos por ningún método conocido. La introducción de la idea de vacío o la nada fue rechazada por los filósofos reconocidos de la época como Aristóteles quién creía que los elementos formaban un medio continuo de materia y, por tanto, el vacío era impensable.	
Competencia de Pensamiento científico propuesta	**Argumentación**
Preguntas sugeridas para problematizar	¿Qué argumentos te parecen originales en Demócrito para pensar, a diferencia de Aristóteles, que los átomos y el vacío tenían alguna relación?

Tipología de la narración y código	Texto Introductorio T04
Narración sugerida	
Debido a que la idea de Demócrito se caracterizaba como materialista (descriptiva y cualitativa) fue olvidada durante muchos siglos, retomando valor en los pensadores renacentistas. En esta época Paracelso (1493-1541), pensador animista influenciado por las doctrinas de Galeno quién creía que todas las acciones eran ejecutadas por distintos espíritus o almas tales como el vegetativo o natural, vital, animal; establecía la existencia de tres elementos: azufre, mercurio y sal neutra con lo que se oponía a las ideas Aristotélicas. Paracelso consideraba que el aire (gas) era un espíritu invisible y su acción sobre los cuerpos se 'manifestaba' por medio de burbujas, siendo su poder evidente por los efectos producidos cuando se bebía en diferentes ocasiones.	
Competencia de Pensamiento científico propuesta	**Argumentación**
Preguntas sugeridas para problematizar	¿Qué argumentos nuevos incorpora Paracelso sobre la noción de *elemento*?

Tipología de la narración y código	Texto Introductorio T05
Narración sugerida	
Colón había llegado al Caribe (1492) y en Europa el Renacimiento se extendía a las artes, la literatura y las ciencias. Las ideas de Paracelso se acentuaban en las universidades y adquirían sentido y valor en los pensadores de la época. Fue el químico y físico belga Jan Baptista Van Helmont quien continuando el análisis de las ideas de Paracelso, en sus escritos *Ortus medicinae, Id est, inicia physicae inaridita. Progressus medicinae novas, in morborum, ultionemad vital longam* e influenciado al parecer por el pensamiento jónico, consideraba sólo dos elementos primarios: el aire y el agua. Estas ideas, al parecer, se sustentaban en evidencias experimentales. Hacía crecer un sauce en una maceta suministrándole por unos días sólo agua. Sus conclusiones eran entonces contradictorias a las de Paracelso, quién suponía que ese aire se ocultaba dentro de los elementos y luego se hacía visible. Helmont explicó que el volumen de un gas aumentaba a través de la fermentación de frutas como las uvas, manzanas y algunas flores, 'volviendo al gas furioso, mudo y muy dañino'. El término "gas" propuesto por Van Helmont se mantuvo por aproximadamente 200 años, hasta que un recaudador de impuestos francés llamado Antoine Lavoisier planteó los principios fundamentales de su teoría del aire en su libro: "Système sur les éléments".	
Competencia de Pensamiento científico propuesta	**Explicación**
Preguntas sugeridas para problematizar	¿Cómo explicarías la expresión de Von Helmont que el volumen de un gas aumentaba a través de la fermentación de frutas como las uvas, manzanas y algunas flores, 'volviendo al gas furioso, mudo y muy dañino'?

Tipología de la narración y código	Texto Introductorio T06
Narración sugerida	
Con el desarrollo del pensamiento matemático del astrónomo italiano Galileo Galilei, se introducen paulatinamente nuevas ideas acerca de los gases y del trabajo experimental. Estamos en la mitad del siglo XVII. Las colonias en América desarrollan sus procesos económicos y políticos con una hegemonía que subordinan portugueses y españoles a las monarquías en ejercicio. Nada se divulga sobre la cosmovisión de las culturas indomaericanas o precolombinas en Europa. Continúan las arbitrariedades y el imperio de la religión católica. Volvamos a Europa, a la casa de Galileo en la Toscana. Además de entretener sus noches con un magnífico telescopio, había intentado explicar la imposibilidad de *elevar el agua por medio de bombas de succión* a más de 10.33 metros de altura. Según él, atribuía esta imposibilidad a la columna de agua para soportar su propio peso. La investigación neumática adquiere valor al dejar en evidencia que se puede producir 'vacío'. Fue el evangelista Torricelli hacia 1644 quien propuso que en vez de emplear agua en estas columnas, se sustituyera por mercurio. Así, surge a partir de la observación de un fenómeno, el instrumento llamado barómetro que será utilizado posteriormente para medir la presión atmosférica. Este 'hito', en el pensamiento del siglo 17, pondrá en duda progresiva la mecánica Aristotélica, puesto que será el mismo Torricelli quien a partir de sus resultados experimentales lograría comprobar la existencia del vacío y otras 'propiedades' del 'aire' tales como que 'era pesado, vaporoso, visible y *que ofrecía una resistencia* a la que hoy denominamos fuerza.	
Competencia de Pensamiento científico propuesta	**Explicación**
Preguntas sugeridas para problematizar	¿Cómo explicas la invención del barómetro de Torricelli? ¿Cómo explicaba Galileo la imposibilidad de 'elevar el agua'?

Tipología de la narración y código	**Texto Introductorio T07**
Narración sugerida	
Mientras Torricelli hacía sucesivos experimentos con su barómetro subiendo y bajando Los Apeninos, para validar sus ideas, por esa misma época, el inglés Robert Boyle, propone la llamada 'Ley de los Gases'. En 1662 publica sus resultados en un texto denominado *A defence of the Doctrine Touching the Spring and Weigh of the air.* Utilizando un tubo de vidrio en forma de "U" con diferentes alturas y en diferentes mediciones, establece interesantes relaciones entre la presión ejercida por el mercurio (líquido) y la atmósfera (gas) y escribe *la presión y la expansión de un gas son inversamente proporcionales a temperatura constante en el tubo*. Estos y otros experimentos notables, le permitirán a Boyle adelantar una definición de elemento.	
Competencia de Pensamiento científico propuesta	**Explicación**
Preguntas sugeridas para problematizar	¿Cómo explicas la palabra 'expansión' en el redactado de Boyle?
Tipología de la narración y código	**Texto Introductorio T08**
Narración sugerida	
Boyle, un experimentador obsesivo y meticuloso, define los elementos *como cuerpos simples de los que se componen los cuerpos mixtos*. De algunos cuerpos mixtos no se pueden extraer elementos, como ocurre con el oro, la plata, el talco calcinado, la sangre humana y la de otros animales *que al ser analizados por procesos de destilación simple y controlada, suministran flema, espíritu, aceite, sal y tierra*. Al parecer, Boyle asume que el humo desprendido de la combustión de los metales no es el aire aristotélico, sino un cuerpo mixto con diferentes propiedades.	
Competencia de Pensamiento científico propuesta	Explicación
Preguntas sugeridas para problematizar	¿Cómo explicas hoy con tus conocimientos la expresión de Boyle de que *algunos 'cuerpos' como la plata, el talco calcinado, la sangre humana y la de otros animales al ser analizados por procesos de destilación simple y controlada, suministran flema, espíritu, aceite, sal y tierra?*

Tipología de la narración y código	Texto Introductorio T09
Narración sugerida	
Boyle en su libro *A Source Book in Chemistry*, publicado hacia 1672, *concluye que el aire es un combustible necesario para mantener la llama encendida en metales como el hierro. Este metal se consume mientras la llama está encendida, lo que llamo aire admitido*. Hacia 1687, el fisiólogo inglés John Mayow publica su obra *Tractactus Quinque Medico –Physic* en el que logra demostrar *que el aire no era una sustancia única, sino una mezcla de varias sustancias elásticas*. A partir de la calcinación de sales de nitro y antimonio, explica que el aire está en alguna parte del nitro y que ese aire debe entenderse con el *espíritu aéreo* del nitro (oxígeno) considerado por él mismo como partícula aérea indispensable, en la producción de fuego (combustión). Para el caso del antimonio observa cómo incrementa su peso debido a que las partículas del nitro son más pesadas, es decir, aumentan el peso los metales al ser calentados con el aire. Sin convencerse del todo, realiza un tercer experimento en el que se refiere al volumen del aire, encerrado en un vaso con un roedor dentro, *como el poder elástico*. Señala Boyle que *este poder elástico es disminuido por la respiración del animal, no mayor, por la resistencia que ofrece la presión del aire circundante*. Concluye que *los animales respiran ciertas partículas aéreas vitales elásticas*.	
Competencia de Pensamiento científico propuesta	**Argumentación / Explicación**
Preguntas sugeridas para problematizar	¿Qué evidencias sustentó Boyle para argumentar su teoría acerca de la naturaleza del aire? Con tus conocimientos de hoy, imaginas que estás entrevistando a Boyle? ¿Qué explicaciones le aportarías?

Tipología de la narración y código	Texto Introductorio T010
Narración sugerida	
El físico francés Edme Mariotte, contemporáneo de Robert Boyle, (1678) en su ensayo sobre la Naturaleza del aire, independiente de los trabajos de Boyle, propone la ley *sobre comprensibilidad de los gases* al estudiar los fenómenos de la primavera en la campiña francesa. Su ley señala que *a una temperatura constante, el volumen del gas varía inversamente proporcional a su presión,* lo que se comprueba experimentalmente al determinar la presión atmosférica utilizando para ello el barómetro de Torricelli. Así, establece propiedades de los gases como la condensación y la dilatación. Los pensadores venideros concluirán que tanto Mariotte como Mayow consideraban al *aire como una mezcla de varias sustancias*. Con el tiempo, se escribirá la Ley combinada de los gases que hoy conocemos como la Ley de Boyle-Mariotte.	
Competencia de Pensamiento científico propuesta	**Explicación /Argumentación**
Preguntas sugeridas para problematizar	¿Cómo explicas la 'natural' relación de los estudios de Boyle y Mariotte acerca de los fenómenos observados en los gases? Adelanta algunos argumentos sobre como imaginas las personalidades de estos científicos y de por qué no aparecen en estos relatos 'científicas'.

Tipología de la narración y código	Texto Introductorio T011
Narración sugerida	
Posteriormente, en el siglo XVIII e influenciados por el pensamiento científico de Isaac Newton, mujeres y hombres de ciencia, concibieron paulatinamente una nueva cosmovisión. La clave que hizo posible encontrar explicaciones sencillas a los complejos procesos químicos fue el estudio de los nuevos gases conocidos hasta ese momento, como consecuencia del trabajo experimental de personas meticulosas, creativas y persistentes como Boyle, Mayow y Mariotte que continuaron sus estudios desde una orientación animista y bajo los principios de su maestro inspirador Paracelso. Al indagar e investigar sus trabajos experimentales, observamos la presencia sistemática en sus resultados de sustancias como el azufre, sales y mercurio.	
Competencia de Pensamiento científico propuesta	**Explicación**
Preguntas sugeridas para problematizar	¿Cómo explicarías la idea de *animismo continuista* en Boyle Mayow y Mariotte, aun cuando se habían postulado leyes que generalizaban sus estudios y establecían algunas controversias con las ideas de Paracelso?

Tipología de la narración y código	Texto Introductorio T012
Narración sugerida	
Estamos acercándonos al siglo XVIII. Convulsionado y febril en Francia, Alemania e Inglaterra. Las monarquías y el elitismo se ponen en discusión en parques, plazas y la vida íntima. Derivados de los experimentos de nobles investigadores anteriores y de investigadoras desdibujadas por la historia de la ciencia, como Mme. Lavoisier, emerge con fuerza la idea del 'flogisto' que fue aceptado por la comunidad científica europea a mediados del siglo XVIII. Los defensores y defensoras del *flogisto,* consideraban que *todos los combustibles contenían una sustancia que se perdía en la combustión*, idea antagónica a los resultados y explicaciones derivadas de rigurosos experimentos de científicos anteriores como Mayow. Una idea interesante y polémica instalada en la cultura árabe por el valor 'místico' que le atribuían al azufre como sustancia purificadora. Fueron Becher y su discípulo Stahl quienes dieron el nombre de flogisto a este principio de la llama. Así, se reconfigura el escenario de las ideas científicas al considerar *que los cuerpos que contenían mucho flogisto se quemaban bien y los cuerpos que no se quemaban estaban deflogistizados*. Algunos cuerpos, como el carbón, con mucho flogisto, podían transferirlo a otro cuerpo que lo hubiera perdido, como el mineral de hierro, devolviéndole así su brillo metálico.	
Competencia de Pensamiento científico propuesta	**Argumentación /Explicación**
Preguntas sugeridas para problematizar	¿Qué evidencias explicaban en la época la existencia del flogisto? Con los conocimientos que tienes hoy ¿cómo explicarías a los defensores del flogisto que es lo que realmente ocurre en una combustión?

Tipología de la narración y código	Texto Introductorio T013
Narración sugerida	
Esta situación que produjo controversias, disputas y conflictos en la comunidad de científicos de la época, intentaba explicar los procesos de la combustión en la reacción de sustancias propuestas por Paracelso. Opositores 'teóricos y experimentales' a la Teoría del Flogisto afirmaban que este fenómeno no consiste en la pérdida de una sustancia metafísica (flogisto), sino en el agregado de una sustancia material denominada 'oxígeno' que produce la oxidación. En consecuencia, la flogistización es justamente la pérdida de oxígeno, es decir, la reducción. Curiosamente, si analizamos este y otros episodios históricos en profundidad, la controversia no se generó en los químicos con tradición experimental, sino que de los físicos que estudiaban las propiedades de los gases, reconociéndose que estas relaciones podrían explicar los procesos químicos tan comunes como la combustión. A partir de este momento y como una manera de 'objetivar los resultados' se extendió rápidamente la idea de pesar las sustancias químicas que se combinaban antes y después de las reacciones a las que eran sometidos.	
Competencia de Pensamiento científico propuesta	**Explicación**
Preguntas sugeridas para problematizar	¿Cómo explicaban los fenómenos químicos los opositores a la Teoría del flogisto?

Tipología de la narración y código	Texto Introductorio T014
Narración sugerida	
Mientras no se pesara o midiera el volumen del gas que se combinaba o disociaba en una reacción química, resultaba muy complejo y difícil establecer los balances químicos en cada caso. Esta idea fue enunciada más tarde y por primera vez en 1774 por el científico eslavo Lomonosov, en la forma de *Principio de Conservación de la Materia*, pero su trabajo, aunque riguroso y con resultados razonables, no fue apreciado entonces por la comunidad científica. Fue hacia 1785, que Antoine Lavoisier, recaudador de impuestos de la corte, lo introdujo como principio fundamental para descartar la idea de flogisto, basándose, curiosamente, en el estudio de los procesos de fermentación. Se sumaron a estas ideas del francés, Stephen Hales, Joseph Black y Joseph Priestley	
Competencia de Pensamiento científico propuesta	**Explicación**
Preguntas sugeridas para problematizar	¿A qué atribuyes que las ideas de Lomonosov no fueran consideradas en la época que le correspondió vivir? ¿Qué piensas acerca de la función de la balanza en los experimentos de quienes no compartían la Teoría del Flogisto?

Tipología de la narración y código	Texto Introductorio T015
Narración sugerida	
Mientras los científicos y científicas europeas dedicaban sus esfuerzos para explicar los fenómenos y reconfigurar las teorías vigentes, en los Estados Unidos de Norteamérica (EEUU), un hombre llamado Benjamín Franklin, descubre accidentalmente el gas de los pantanos, al que llamó *vapor del espíritu inflamable* (hoy lo conocemos como metano y es el combustible habitual en nuestras casas). El episodio histórico relatado se refiere a que uno de sus empleados dejó caer súbitamente una vela en los pantanos de Nueva Jersey. Franklin comprobó dicho evento al escoger un lugar poco profundo y barroso, luego agitó con un palo y al momento de desprenderse varias burbujas le proporcionaron fuego; observó que inmediatamente este se esparcía con gran rapidez por el pantano. Interesado por este fenómeno, Franklin escribe a Priestley en 1774. Posteriormente y luego de varios intercambios epistolares que tardaban meses en resolverse, Franklin viajó a Inglaterra donde probó el experimento junto a Priestley, sin tener el éxito de Nueva Jersey. Este hecho al parecer fue olvidado en la historia de la ciencia, aun cuando estamos en la época de la controversia sobre el flogisto.	
Competencia de Pensamiento científico propuesta	**Explicación**
Preguntas sugeridas para problematizar	¿Cómo se explica la emergencia del 'vapor del espíritu inflamable? ¿A qué atribuyes que los científicos de la época explicaran los fenómenos con estas metáforas?

Tipología de la narración y código	Texto Introductorio T016
Narración sugerida	
Stephen Hales demostró a principios del siglo, en su libro *Vegetable Staticks*, un método muy sencillo para recoger gases sobre el agua y medir así su volumen. El médico escocés, Joseph Black en su tesis doctoral, *Experimentos con Magnesia Alba* publicada en 1756 se refería a lo que hoy conocemos como hidróxido de mercurio carbonatado y *cal viva* (monóxido de calcio). Su finalidad y obsesión, era identificar y caracterizar un remedio nuevo y moderado para los cálculos renales, que era un malestar extendido entre los bebedores del siglo XVIII. Durante varios meses, logró distinguir y pesar el gas liberado por los carbonatos, tales como las piezas calizas y la magnesia cuando eran sometidos al calentamiento controlado, de igual modo que las sustancias alcalinas que hoy conocemos y nos resultan tan comunes, pierden peso después de la calcinación con un ácido. Black también concluyó a partir de sus experimentos, que *el aumento de peso de algunos metales, como el oro, se debe a que el aire fijo (gas carbónico) se adhiere a este, de tal modo que recobra su elasticidad, porque puede ser absorbido en agua cal y volver a constituir así el carbonato original.* Consideraba que este gas era suministrado por el álcali cuya evidencia era la producción de burbujas (efervescencia) al ser separado por un ácido débil o fuerte. Estas explicaciones eran consistentes con los resultados que había obtenido Hales quien se refería a este gas contenido en el álcali como *aire fijo*. Así Black demostró a los dubitativos de la época, que un gas puede constituir un cuerpo sólido y que, en consecuencia' es una sustancia material.	
Competencia de Pensamiento científico propuesta	**Argumentación /Explicación**
Preguntas sugeridas para problematizar	Explica con tus palabras los argumentos que sostenían los químicos del siglo 18 de 'porqué los gases pierden peso'. ¿Qué propósito invita a investigar a Black sobre la Magnesia Alba? Consulta a tus familiares mayores acerca de la 'Leche de Magnesia'. ¿Qué explicación propones sobre los efectos de la Leche de Magnesia cuando tenemos malestares estomacales?

Tipología de la narración y código	Texto Introductorio T017
Narración sugerida	
Joseph Priestley identificó y caracterizó varios gases. Manipuló con muchísimo cuidado, una gran variedad de gases, los aisló con frecuencia y logró hallar y producir otros gases tales como el dióxido de carbono al que denominó *aire fijo*, con el que finalmente realizó una mezcla que se conoció como *agua de soda*. Hacia 1774 Priestley, por medio del calentamiento del óxido rojo de mercurio, consiguió producir un gas al que llamó *aire deflogistizado*, por tener una afinidad diferente (mayor) con el flogisto que la del aire ordinario, esto es, porque a la vista de los experimentos de Priestley, los cuerpos ardían mejor en este gas que en el aire. Hoy en día esa sustancia que tanta controversia generó, la conocemos como *oxígeno*. Priestley demostró además, que es el aire deflogistizado el que se emplea tanto en la combustión como en la respiración celular. Logró demostrar también, aunque sin comprenderlo, que las plantas verdes producen realmente oxígeno a partir de aire fijo o gas carbónico, que absorben.	
Competencia de Pensamiento científico propuesta	**Explicación /Argumentación**
Preguntas sugeridas para problematizar	Explica que es para Pristley el aire fijo y el aire desflogistizado ¿Por qué habrá utilizado óxido rojo de mercurio y no otra sustancia? Argumenta brevemente.

Tipología de la narración y código	Texto Introductorio T018
Narración sugerida	
En forma independiente y con reducida y acaso nula comunicación científica con Priestley, el joven químico sueco Carl Whilhem Scheele en sus meticulosas investigaciones acerca del aire y el fuego (se han identificado 87 experimentos de su autoría intelectual), publicados en 1777, descubre el oxígeno 'antes que Lavoisier'. Del mismo modo, confirma las propiedades cualitativas que sobre los gases se habían hallado con diferentes metodologías e instrumentos en años anteriores en Italia, Francia e Inglaterra como el peso, el volumen, compresibilidad o elasticidad. Llamó al oxígeno *fluido elástico* que hace parte de la composición del aire de la atmósfera. El físico británico Henry Cavendish hacia 1785 aisló el 'aire inflamable', que hoy conocemos como hidrógeno. Sus resultados fueron publicados en el libro *Experiements on Air*. El químico británico Joseph Priestley lo llamó formalmente 'aire inflamable' en 1781, y el químico francés Antoine Lavoisier lo denominó finalmente hidrógeno.	
Competencia de Pensamiento científico propuesta	**Explicación**
Preguntas sugeridas para problematizar	¿Cómo explicarías que un científico como Sheel no figure normalmente en los libros de química, siendo que a diferencia de Lavoisier, él era químico y mucho más meticuloso y conocedor de su disciplina?

Tipología de la narración y código	Texto Introductorio T019
Narración sugerida	
Con la interpretación del significado del aire deflogistizado u oxígeno por parte de Lavoisier, que sin ser químico le llama *le principe oxigine* ó productor de ácidos en los procesos de combustión de metales y respiración de animales, descarta así la teoría del flogisto pocos meses antes de ser guillotinado como consecuencia de ser 'amigo del Rey y partidario de la Monarquía'. Con este momento histórico en 1778 se consolida la crisis teórica que se venía desarrollando sistemáticamente. Para Thomas Kuhn, surge así lo que él llamó la 'discontinuidad de las teorías o revolución científica, una 'verdadera revolución en la química', otra revolución (la francesa) llevaría paradojalmente a Lavoisier al patíbulo. En 1775, Lavoisier publica los resultados anteriores para consolidar sus ideas. Sin embargo, ahora emplea mercurio líquido sometido al calentamiento. Su trabajo (traducido al inglés) *Memoir on the nature of the principle which combines with metals during calcinations and increases their weigth*; complementa los trabajos de Priestley, y recupera la palabra *gas* enunciada por Helmont, para denominar al aire fijo o gas carbónico, señalando que *los gases no son sustancias simples o elementos, y el aire respirable es sólo una cuarta parte del aire de la atmósfera, lo demás es un gas nocivo para los seres vivientes*.	
Competencia de Pensamiento científico propuesta	**Argumentación /Explicación**
Preguntas sugeridas para problematizar	Adelanta argumentos propios que permitan comprender la teoría del flogisto ¿Eran consistentes las explicaciones de Lavoisier en su época? ¿Qué puedes imaginarte del ambiente de investigación de Lavosier y por qué no siendo químico logra descartar una teoría científica? ¿Qué ventajas tenía sobre sus contemporáneos? Adelanta algunos argumentos y discútelos con tus compañeros/as de curso.

7. Reflexiones finales

Hay un fértil camino que recién se comienza a recorrer. Pensamos que una prioridad en este sentido es el desarrollo de un modelo teórico-metodológico para incorporar la historia de la ciencia en la formación docente que enfatice los elementos anteriormente analizados con una *teoría didáctica de los contenidos científicos escolares* de química y una epistemología naturalizada tal y cual lo hemos planteado en este capítulo. En esta área de análisis nos encontramos trabajando hoy en día y será, probablemente el contenido de nuevas publicaciones.

Es imprescindible que la comunidad de investigadores en didáctica de las ciencias y en particular quienes nos dedicamos a explorar la historia y la filosofía de la química con fines de formación docente, enseñanza y aprendizaje valoremos la finalidad de este vínculo, comprendiendo la complejidad y dificultad para abordarlo tanto en términos de sistematización teórica, como en directrices metodológicas debidamente fundamentadas para las prácticas de aula, cualesquiera sean ellas.

El convencimiento de la vinculación de la historia y la filosofía de la química con la didáctica de la química como 'estrategia estructuradora y funcional' de decisiones de diseño didáctico (DDD), tiene como finalidad dejar en evidencia los procesos de desarrollo, consolidación y desarrollo tanto del pensamiento como del conocimiento científico, fruto de un trabajo colectivo, es decir, de una construcción humana, en la que hay polémicas, tensiones y distensiones en diferentes momentos y condiciones. Se requiere compartir con estudiantes y profesores el proceso de selección de determinados episodios históricos intencionalmente seleccionados, transpuestos y con valor para la educación científica, que permita pensar sobre y acerca de las ciencias.

La contextualización presentada con el apoyo histórico de los documentos originales con respeto a un tema específico hace posible el debate histórico y filosófico sobre la química y su enseñanza. Para ello, la actividad científica escolar requiere superar aquellas prácticas tradicionales vislumbradas en su enseñanza desde unas visiones deformadas de la ciencia como individualista y elitista, descontextualizada, aproblemática, empiro-inductivista, rígida, anacrónica, algorítmica-infalible, acumulativa y exclusivamente analítica en donde esta propuesta de práctica de aula, pretende atenuar, en parte, estas tradiciones en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, particularmente para la educación básica primaria y secundaria.

Finalmente, el uso de la H&F de la Q en las 'prácticas de aula' puede ser un instrumento–estrategia valiosa para la promoción y desarrollo de competencias de pensamiento científico. Las CPC representan entonces una combinación valiosa y dinámica de atributos en relación con conocimientos, habilidades, actitudes, valores, contextos y responsabilidades ciudadanas que describen e interpretan los resultados de aprendizajes dentro de un programa educativo mucho más amplio y enriquecedor, en el que los estudiantes sean capaces de manifestar comprensivamente sus ideas, argumentos, explicaciones e imaginarios sobre la producción y desarrollo del conocimiento científico. Sólo así estaremos colaborando con una enseñanza de la química en diferentes contextos que les resulte interesante, valiosa y necesaria para intervenir y transformar el mundo que hoy les ha correspondido vivir.

Capítulo IV. Historia y filosofía de la ciencia para la enseñanza de las ciencias: La noción de naturaleza de la ciencia

Introducción

En este último capítulo partimos de la premisa, ampliamente justificada a lo largo de todo el libro, de que la historia y la filosofía de la ciencia efectivamente realizan contribuciones sustantivas a la enseñanza de las ciencias, aportan elementos centrales para la formación del profesorado de ciencias y proporcionan fundamentos teóricos sólidos para la didáctica de las ciencias como disciplina (ver referencias ya clásicas, como Gil-Pérez, 1993; Izquierdo-Aymerich, 1996, 2000; o la más reciente Hodson, 2009).

Así, adherimos al "reconocimiento del *papel educativo* que estas disciplinas pueden tener y que ha sido repetidamente resaltado por científicos, historiadores [y filósofos] de la ciencia y educadores" (Gil-Pérez, 1993: 198, la cursiva es nuestra). Con base en este reconocimiento, introducimos aquí formalmente la noción de "naturaleza de la ciencia", a fin de precisar qué tipo de contribuciones, elementos y fundamentos nos interesan a quienes nos ocupa la educación científica con fines de investigación, innovación y formación docente.

En la primera sección damos distintas definiciones de la naturaleza de la ciencia a partir de sus constituyentes principales –la historia y la filosofía de la ciencia–, que convergen sinérgicamente en ella para atender a la problemática de la calidad de la educación científica. La segunda sección está dedicada a revisar algunos de los grandes desafíos que emergen cuando se intenta introducir la naturaleza de la ciencia en la enseñanza de las ciencias. El capítulo además, como todos los anteriores, presenta una actividad didáctica dedicada a aplicar de manera concreta las ideas discutidas.

1. ¿Cómo se define la naturaleza de la ciencia?

Como lo hemos mencionado en los capítulos anteriores, a la naturaleza de la ciencia se la conoce internacionalmente con la denominación inglesa de *nature of science*, y en general se la abrevia como "NOS" (ver el texto fundante de McComas, 1998). En una primera aproximación, podemos decir que la NOS constituye hoy en día un campo de investigación e innovación reconocido dentro de la didáctica de las ciencias, campo que continua consolidándose en nuestros países –en los últimos veinticinco años– pero que es muy estimulante y productivo, con una amplísima presencia en los congresos y publicaciones

de nuestra disciplina (ver Flick & Lederman, 2004; Adúriz-Bravo, 2008a; Vázquez & Manassero, 2011; Abd-el-Khalick, 2012; Khine, 2012; Hodson, 2014).

Este campo de trabajo acerca de la naturaleza de la ciencia se denomina así debido a que toma el nombre del *objeto de enseñanza* sobre el que se reflexiona teórica y críticamente; tal objeto se constituye en un *componente emergente* de los nuevos currículos de ciencias para todos los niveles educativos –desde el inicial hasta el universitario– (ver Hodson, 2009: 7). El componente curricular de naturaleza de la ciencia tiene un carácter que se llama *metadiscursivo*, *metateórico* o *metacientífico* (es decir, "de segundo orden"): está conformado por un conjunto de estudios específicos *sobre* la naturaleza o esencia profunda del conocimiento científico (ciencia como *producto*) y de la actividad científica (ciencia como *proceso*), elaborados desde distintas perspectivas de análisis: estructura, estatuto y validez, funcionamiento, génesis, evolución, alcances y limitaciones, relaciones con la sociedad y la cultura, etc. (ver Hodson, 2014: 911-912).

La naturaleza de la ciencia aparece en los currículos actuales a partir de una contundente crítica a la enseñanza de las ciencias tradicional: una enseñanza limitada a los productos acabados de la ciencia, que fue llamada por el didacta de las ciencias estadounidense Richard Duschl, en un texto ya clásico del cual existe traducción castellana, enseñanza de la ciencia "en su forma final" (Duschl, 1997: cap. 4). Al plantearse a nivel internacional nuevos y ambiciosos objetivos para la educación científica obligatoria, alineados con las ideas de *alfabetización* o *enculturación* científica para todos y todas (ver Wang y Schmidt, 2001), aquel enfoque comenzó a evidenciar graves insuficiencias. Ello llevó a la necesidad de incorporar la enseñanza explícita de conocimiento *sobre la ciencia*, atendiendo a la pregunta metacientífica de *cómo hemos llegado a saber eso que sabemos*.

El didacta de las ciencias español Juan Miguel Campanario describe elocuentemente el cambio en las finalidades socialmente demandadas para la enseñanza de las ciencias que se potenció en los años '90 y que dio lugar a la incorporación de la naturaleza de la ciencia en la educación científica y en la formación de profesores de ciencias:

> *El aprender acerca de la propia ciencia, su historia, su realidad y su construcción ha dejado de considerarse un mero complemento útil, o más o menos interesante siempre que haya tiempo, para convertirse en parte de la alfabetización cultural de los ciudadanos […]. Con este fin se incluyen cada vez más contenidos metacientíficos [de naturaleza de la ciencia] en los programas educativos y en los libros de texto. Precisamente uno de los objetivos comunes de la enseñanza de las ciencias es que los alumnos conozcan la importancia de la ciencia en nuestra sociedad […]. Un tratamiento riguroso de estos aspectos puede requerir algún tiempo adicional que justifica la limitación de los contenidos puramente conceptuales y metodológicos* (Campanario, 1999: 408).

Las nuevas finalidades proclamadas para la educación científica de la ciudadanía incluyen, entre otras cosas, que el estudiantado dé sentido al mundo que lo rodea por medio de interpretaciones teóricas, que tome contacto con productos intelectuales valiosos –cuales son la ciencia, la tecnología y las propias "metaciencias" (filosofía, historia y sociología de la ciencia)–, que pueda decodificar críticamente los mensajes sobre ciencia y tecnología que circulan en los medios de comunicación masivos, y que pueda evaluar responsablemente la actividad científica, conociendo su estatus, sus fortalezas y sus limitaciones. A estos objetivos se suma la necesaria pretensión de que la persona científicamente educada sea capaz de tomar decisiones fundamentadas sobre cuestiones *sociocientíficas* que la atañen en su vida adulta, tales como la alimentación, los organismos genéticamente modificados, la salud, la sexualidad, las energías alternativas, la sostenibilidad o el cambio climático global (ver Irzik & Nola, 2014: 999-1000).

Como dijimos, para estas nuevas finalidades es necesario, además de conocer los productos de la ciencia (el corpus de conocimiento acumulado), comprender *qué es esa cosa llamada ciencia*, según la famosa expresión del filósofo de la ciencia Alan Chalmers (2010). Saber de naturaleza de la ciencia implica, así, dar una respuesta consistente a preguntas de carácter metacientífico:

> *En los casos que son centrales a la finalidad última de la educación científica […], la preocupación principal es menos el contenido que la comprensión de la práctica científica. […] A saber, ¿cómo llegan los científicos a sus conclusiones y, por tanto, cuándo son ellos dignos de confianza? Los estudiantes necesitan aprender principalmente sobre la naturaleza de la ciencia, o NOS: cómo funciona –o no funciona– la ciencia y por qué* (Allchin, 2013, subrayado en el original, la traducción es nuestra).

En forma genérica, la expresión *naturaleza de la ciencia* remite a los diversos aportes que las metaciencias (y, muy especialmente dentro de ellas, la historia y la filosofía de la ciencia, que constituyen el corazón de este libro) hacen, en la educación científica, a nuestra comprensión de la ciencia como empresa humana (ver Irzik & Nola, 2014). Unificar en este capítulo las aportaciones filosóficas e históricas bajo un rótulo genérico tiene la ventaja, nos parece, de lograr eludir, en el ámbito de la enseñanza de la ciencia, las arduas disputas académicas sobre los límites entre las dos perspectivas disciplinares, algunas de las cuales se evidencian en la siguiente cita:

> *La expresión "historia y filosofía de la ciencia" puede entenderse de maneras diferentes. El punto de vista dominante desde principios de los años sesenta del siglo XX, cuando se dieron los primeros intentos por conectar la filosofía de la ciencia y la historia de la ciencia, ha sido pensar en términos de una unión entre dos disciplinas que constitutivamente son diferentes. Este enfoque ha planteado diversas complicaciones; una de ellas por el hecho ya mencionado de que los objetivos de ambas disciplinas se consideran, por lo menos con frecuencia, mutuamente incompatibles, y por eso es difícil entablar entre ambas una relación transparente* (Martínez & Guillaumin, 2005: 8).

De una manera más operativa, podríamos definir la naturaleza de la ciencia como un conjunto de contenidos metacientíficos seleccionados *por su valor para la educación científica de la ciudadanía*, sobre los cuales se realiza una adecuada transposición didáctica (Adúriz-Bravo, 2005c). Para los objetivos de este capítulo, entenderemos la naturaleza de la ciencia como contenidos fundamentalmente procedentes de distintas escuelas y autores de la filosofía de la ciencia del siglo XX, *ambientados* en episodios paradigmáticos de la historia de la ciencia y *advertidos* por la sociología de la ciencia contra el dogmatismo, el triunfalismo, el elitismo y el sesgo de género propios de las visiones de ciencia tradicionales, comúnmente calificadas de *cientificistas* o *tecnocráticas* (Adúriz-Bravo, 2006, 2008a).

Como sugerimos en los párrafos anteriores, la naturaleza de la ciencia prescrita en los currículos de ciencias para la educación obligatoria en muchos países, dirigida a estudiantado de entre 5 y 15 años, no contempla los contenidos metacientíficos a enseñar tal cual ellos son producidos en las disciplinas académicas a las que considera como referencia (filosofía e historia de la ciencia). Antes bien, la naturaleza de la ciencia transpone esos contenidos con gran libertad y flexibilidad a modo de rescatar su sentido profundamente educativo y de contribuir a la formación de una ciudadanía alfabetizada científicamente. Es decir, la naturaleza de la ciencia pretende crear en el estudiantado una imagen de ciencia dinámica y humana, que se aleje de la exposición de productos acabados (verdades científicas) y haga vislumbrar algo de la complejidad de la actividad científica. Para fijar ideas, examinemos, como ejemplo, la noción de naturaleza de la ciencia que la documentación curricular oficial de Argentina prescribe enseñar para el nivel primario:

> *Lo que caracterizaría la actividad científica […] no es la existencia de un método único, constituido por pasos rígidos, generalmente conocido como "método científico". En efecto, esta visión establece una simplificación excesiva frente a la complejidad del proceso de producción de nuevos conocimientos. Por el contrario, desde los enfoques actuales, que reconocen la complejidad e historicidad de estos procesos, el corazón de la actividad científica es la búsqueda de estrategias adecuadas y creativas para resolver problemas y responder preguntas en un intento por explicar la naturaleza. Se trata de una búsqueda que convierte los fenómenos naturales en "hechos científicos", es decir, hechos vistos desde las teorías* (AA.VV., 2007: 17).

Ideas acerca de la naturaleza de la ciencia al estilo de estas nociones anteriores aparecen reseñadas en los currículos de ciencias de los distintos niveles educativos en países dentro y fuera de nuestra región (ver, por ejemplo, análisis primigenios en McComas, 1998, o una actualización importante en Hodson, 2014).

2. ¿Qué desafíos valiosos se nos presentan a la hora de enseñar la naturaleza de la ciencia?

Felizmente, con la configuración de los currículos innovadores considerando la mirada de la naturaleza de la ciencia, quedó asumido el requerimiento de que el profesorado de ciencias considere en las aulas estos contenidos novedosos. Ahora bien, estos contenidos hasta hace muy poco no formaban parte de la formación inicial docente; esta situación "de transición" fue generando diversos desafíos. En este capítulo nos interesa revisar algunos de tales desafíos, repasando debates que se dan al interior de la didáctica de las ciencias en torno a los siguientes "aspectos NOS": (i) *Finalidades, (ii) Contenidos, (iii) Metodologías, (iv) Materiales, (v) Evaluación y (vi) Competencias científicas*. A continuación, nos referimos brevemente a cada uno de esos aspectos.

1. *Finalidades de la naturaleza de la ciencia*. ¿Para qué se ha de enseñar la naturaleza de la ciencia a las diferentes poblaciones de estudiantes? ¿Cuáles son sus contribuciones específicas a una educación científica de calidad? ¿Qué relaciones ha de mantener la naturaleza de la ciencia con los propios contenidos científicos y con los contenidos de otras áreas curriculares? Esta primera cuestión aparece abordada sistemáticamente por primera vez en Driver et al. (1996). McComas (1998) y Hodson (2009) expanden y actualizan ese abordaje primigenio.

2. *Contenidos de la naturaleza de la ciencia*. ¿Qué naturaleza de la ciencia se ha de enseñar en la educación científica formal en los distintos niveles educativos? ¿Qué escuelas, autores, ideas, modelos y lenguajes son los más relevantes para formar metacientíficamente en temáticas de ciudadanía y diversidad cultural? ¿Son aquellos los mismos para diferentes públicos, edades, orientaciones y contextos? Para revisar esta segunda cuestión, que es la que más se ha estudiado en el campo NOS, aparecen aportes fundantes en el handbook compilado por William McComas (1998), que ya hemos citado varias veces a lo largo de este capítulo por tratarse de una referencia histórica. Vázquez & Manassero (2011), Khine (2012), Allchin (2013) e Irzik & Nola (2014), entre otros autores, han atacado en la última década este problema de "selección" de contenidos.

3. *Metodologías de la naturaleza de la ciencia*. ¿Cómo se ha de enseñar la naturaleza de la ciencia para que resulte más significativa a sus destinatarios, incluidos estudiantes y profesorado? ¿De qué manera se puede lograr una comprensión sustantiva de estos contenidos que permita emplearlos para comprender las ciencias, establecer una mirada crítica y tomar decisiones informadas? Niaz (2011), Abd-el-Khalick (2013) y Allchin (2013) aportan una variedad de ideas interesantes a este respecto.

4. *Materiales de naturaleza de la ciencia*. ¿Qué estrategias, actividades, materiales y textos pueden contribuir a procesos de aprendizaje intelectualmente valiosos a la hora de presentar la naturaleza de la ciencia en distintas situaciones de enseñanza? ¿Qué funciones didácticas pueden cumplir las narrativas históricas, los casos reales y los debates y controversias atravesados por NOS? Desde Jiménez-Aleixandre (1996), Duschl (1997), McComas (1998) e Izquierdo-Aymerich (2000), hasta trabajos más recientes como Seroglou (2006), Adúriz-Bravo & Izquierdo-Aymerich (2009) y Adúriz-Bravo (2013), existen decenas de referencias que presentan y revisan materiales NOS ajustados para implementarse en las aulas.

5. *Evaluación de la naturaleza de la ciencia*. ¿Cómo podemos diagnosticar y caracterizar las ideas de sentido común acerca de la ciencia y de los científicos que sostienen estudiantado y profesorado? ¿De qué dispositivos disponemos para evaluar cambios conceptuales, procedimentales y actitudinales en niños y niñas, adolescentes y jóvenes tras su contacto con la naturaleza de la ciencia? El didacta estadounidense Norman Lederman ha sido uno de los investigadores que más ha examinado la cuestión de la evaluación NOS (ver por ejemplo Lederman et al., 2002; Lederman et al., 2014).

6. *Naturaleza de la ciencia y formación del profesorado*. ¿Qué posibilidades y límites tiene la introducción de la naturaleza de la ciencia en la formación inicial y continuada del profesorado de ciencias para los diferentes niveles educativos? ¿Qué propuestas hay disponibles para acercar a los docentes al conocimiento de la naturaleza de la ciencia? En Abd-el-Khalick & Lederman (2000), Abd-el-Khalick & Akerson (2009), Adúriz-Bravo (2011), Niaz (2011), etc., se discute la formación NOS del profesorado de ciencias.

7. *Naturaleza de la ciencia y competencias científicas*. ¿Cómo contribuye el conocimiento de la naturaleza de la ciencia a la promoción y desarrollo de competencias de pensamiento, discurso y acción científicas deseables en el estudiantado de los distintos niveles educativos? ¿Cómo se puede repensar la enseñanza de competencias científicas complejas como la experimentación, la inferencia, la argumentación o la modelización a la luz de la naturaleza de la ciencia? Los fundamentos teóricos del conocido Programa PISA (OECD, 2013) vinculan explícitamente las nociones de NOS y competencia científica. Nosotros, por nuestra parte, hemos venido investigando y reportando en nuestros países diferentes experiencias de fomento de competencias científicas basadas en un uso potente de la filosofía y la historia de la ciencia (ver por ejemplo Quintanilla et al., 2014).

En los siguientes apartados nos introducimos brevemente algunos de estos problemas que hemos enunciado, examinando lineamientos y propuestas teóricas y metodológicas para enseñar la naturaleza de la ciencia a toda la ciudadanía. En el campo de trabajo de la naturaleza de la ciencia resulta prioritario

identificar, junto con el profesorado de ciencias (en formación y en ejercicio), las finalidades específicas para las cuales será enseñada, los *contenidos metateóricos* que se incluirán en cada propuesta y las estrategias más interesantes con las cuales su enseñanza podrá resultar significativa e intelectualmente desafiante para el estudiantado.

Luego de esas reflexiones dedicamos una breve sección a describir y comentar una actividad didáctica que nos sirve para que los constructos teóricos que hemos consensuado puedan incorporarse como *insumos transformadores* en la práctica docente concreta en las aulas de secundaria básica (12-15 años). Complementamos la actividad con algunos apuntes conclusivos y con una breve selección de bibliografía actualizada, para aquellos lectores que deseen seguir profundizando en el campo de la naturaleza de la ciencia.

2.1. ¿Hacia qué finalidades nos interesa que apunte la naturaleza de la ciencia en la enseñanza de las ciencias y en la formación del profesorado de ciencias?

En un texto que ya es clásico para la comunidad de investigadores en didáctica de las ciencias, Rosalind Driver y colegas (1996) presentaron las diferentes finalidades a las que se direccionaría la enseñanza de la naturaleza de la ciencia en una educación científica de calidad para toda la ciudadanía. Reelaborando los argumentos allí expuestos, en una primera aproximación se podrían destacar tres contribuciones que nos parecen relevantes:

1. *La naturaleza de la ciencia sirve a una finalidad que podríamos llamar "intrínseca": constituye un metadiscurso crítico sobre las ciencias*. Es en ella misma una reflexión explícita y rigurosa sobre la empresa científica, que busca responder cuestiones tales como: ¿qué es la ciencia y en qué se diferencia de otras actividades humanas?, ¿cómo se elabora y cuál es su grado de validez?, ¿cómo son el lenguaje y las explicaciones científicas?, ¿cómo cambia la ciencia a lo largo de la historia humana?, ¿qué ideas y personajes se pueden considerar hitos que, aunque controversiales, han contribuido a la construcción de la ciencia?, ¿cómo se relaciona la ciencia con la sociedad y la cultura de cada época y lugar?, ¿qué valores sostiene la comunidad científica en cada momento histórico determinado? (Adúriz-Bravo, 2005c; el lector encontrará otras referencias en el libro compilado por Quintanilla et al., 2014).

2. *La naturaleza de la ciencia cumple también una finalidad que denominaríamos cultural: muestra la ciencia como una actividad de hombres y mujeres reales, insertos en comunidades y sociedades*. Permite apreciar las ciencias como un producto intelectual muy destacado de la humanidad, y al mismo tiempo deja al descubierto sus alcances y sus límites; habilita al estudiantado a gozar de sus beneficios en forma autónoma, crítica, responsable y

solidaria; posibilita también la vinculación de la ciencia con otras producciones humanas históricamente situadas, dejando ver sus ricas conexiones bidireccionales con la política, la economía, la religión, el arte… Con todo esto se generaría –en las personas científicamente educadas– una imagen de ciencia más humanizada, que rompería con los estereotipos dominantes de "ciencia para unos pocos" (ver contribuciones en esta línea en Galagovsky, 2011; Pujalte et al., 2014; y en nuestros trabajos recogidos en Quintanilla et al., 2014).

3. *La naturaleza de la ciencia se dirige además a una finalidad "instrumental": funge como herramienta para mejorar la calidad de la enseñanza y del aprendizaje de las ciencias*. La historia y la filosofía de la ciencia, al combinarse de manera inteligente y desafiante, colaboran a identificar y superar obstáculos epistemológicos que dificultan la comprensión, la retención, la aplicación y la transferencia de los contenidos científicos escolares. Ello es así porque un conocimiento adecuado del devenir histórico de las disputas o controversias que han dado lugar a las ideas científicas, fuertemente interpretadas desde un encuadre epistemológico, tiene capacidad de servir de puente entre las "dos culturas" (científica y humanista) retratadas dramáticamente por Charles Percy Snow en su conferencia de 1959. En efecto, la evaluación crítica de la inclusión instrumental de la historia y la filosofía de la ciencia ha mostrado, en la

> *[…] investigación sobre cursos, rendimiento escolar y actitudes [,] resultados positivos, incluyendo una comprensión creciente de la ciencia, un interés creciente en la materia, un pensamiento crítico potenciado y la participación [c]reciente de las chicas en programas científicos escolares […].* (Matthews, 1991: 146, el subrayado es nuestro).

Por tanto, la naturaleza de la ciencia puede servirnos de guía para diseñar una enseñanza de las ciencias más significativa, que "haga vivir" en las aulas las ideas y modelos científicos históricos y actuales que forman parte de los currículos de ciencias en todos nuestros países. Lederman (2007) se hace eco de esta potencialidad de la naturaleza de la ciencia y a la vez señala la falta de estudios empíricos en donde "se mida" (con todo lo polémico que puede ser este objetivo para nosotros) el impacto concreto que ella tiene en los logros de aprendizaje del estudiantado. Matthews (2000), Guridi & Arriassecq (2004) y Joshua y Dupin (2005), por su parte, identifican diversas contribuciones de la historia y la filosofía de la ciencia a los aprendizajes científicos, aunque sin hacer uso de la expresión "naturaleza de la ciencia".

2.2. ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de enseñar para una nueva "cultura científica" y una profesionalización del profesorado de ciencias?

Partimos aquí del supuesto, que expusimos en los párrafos anteriores, de que la principal contribución a la naturaleza de la ciencia proviene de la filosofía de la ciencia. Se trataría entonces de enseñar, en las aulas de ciencias, lo que

podríamos llamar unas *ideas epistemológicas clave* (Adúriz-Bravo, 2011b; Adúriz-Bravo & Izquierdo-Aymerich, 2002); esas ideas, bien afinadas y específicas, habilitarían al estudiantado a *pensar sobre la ciencia y acerca de la ciencia* de todos los tiempos en algunos de sus aspectos centrales.

Consideremos el siguiente ejemplo de presentación de los contenidos NOS bajo la forma de una idea clave: *En la investigación científica, la teoría y la empiria están íntimamente soldadas y se implican y condicionan mutuamente* (ver Adúriz-Bravo, 2011a). Así, las teorías científicas surgen con la pretensión de dar cuenta de determinados hechos del mundo, buscando en ellos recurrencias y patrones, pero también las observaciones y experimentos están dirigidos y sesgados por los marcos teóricos de los científicos y científicas, que son a su vez un reflejo del *espíritu de época*, y de las interpretaciones e instrumentos disponibles en contextos específicos. Trabajar con estudiantes y profesores tal idea epistemológica clave con cierto nivel de precisión les permitiría comprender los complejos procesos de descubrimiento o de invención científicas en la historia humana.

Ahora bien, para que las ideas clave de la naturaleza de la ciencia *prediquen* sobre las propias ciencias, es necesario aplicarlas al análisis de situaciones y contenidos concretos. La historia de la ciencia toma entonces un lugar muy potente y relevante en la naturaleza de la ciencia, pues provee de escenarios o *ambientaciones* interesantes que contextualizan la reflexión metateórica y la enfocan sobre un contenido científico relativamente sencillo, pero a la vez "ejemplar". Los episodios históricos que seleccionemos (por ejemplo, la polémica de Watson y Crick con Rosalind Franklin en torno a la famosa "fotografía 51" del ADN; el pasaje de la explicación flogistonista a la explicación oxigenista de la combustión; o la postulación del *modelo planetario* de átomo tras los experimentos de Geiger y Marsden con la lámina de oro) funcionarían entonces como *ejemplos paradigmáticos* para la mirada provista por la naturaleza de la ciencia (Adúriz-Bravo, 2013). El análisis filosófico de los episodios históricos pone en valor *problemáticas estructurantes* de la actividad científica de todos los tiempos, que pueden ser confrontadas desde una mirada teórica no ingenua.

A esta manera de relacionar sustantivamente historia y filosofía de la ciencia en la naturaleza de la ciencia se podría sumar también la contribución de la *sociología de la ciencia*. Esta metaciencia generaría una plataforma de pensamiento no autocomplaciente, fuertemente *anticientificista*, que, sin dejar de admirar la profundidad, potencia, rigor, imaginación y belleza de las ciencias, permitiría al mismo tiempo considerarlas como creaciones hechas *por* humanos y *para humanos,* no exentas de errores, limitaciones, desvíos, prejuicios, intereses mezquinos o espurios, soberbia y arrogancia intelectual, todos males que permean el imaginario docto *más tradicional*.

De cara a la selección de las ideas clave a enseñar a las distintas poblaciones de estudiantado (y profesorado), necesitamos tener algunos criterios potentes que pretendan alcanzar coherencia con todo lo expuesto anteriormente. A nuestro juicio, se trataría de construir en las clases de ciencias de los distintos niveles educativos una *imagen de ciencia como actividad profundamente humana* (Izquierdo-Aymerich et al., 2014), con valor formativo para las personas, pero a la vez de contribuir con aquellos componentes teóricos irreducibles para discutir con cierto nivel de detalle y sofisticación, alejado del sentido común, algunas cuestiones que hacen a la naturaleza profunda de la actividad científica. De allí que se pueda hablar de la necesidad de una enseñanza sistemática de los *procesos de la ciencia*, lo que en la literatura de origen anglosajón se conoce como *naturaleza de la indagación científica*, o *nature of scientific inquiry* (Flick & Lederman, 2004).

2.3. ¿Cómo enseñar la naturaleza de la ciencia en estos escenarios complejos?

A la hora de enseñar la naturaleza de la ciencia podríamos implementar, por analogía, las estrategias que la didáctica de las ciencias sugiere para enseñar los propios contenidos científicos; entre otras muchas recomendamos:

1. Plantear *problemas genuinos* o *auténticos*, socialmente relevantes para los diferentes públicos destinatarios, a modo de fomentar la reflexión crítica y de generar la necesidad de introducir las ideas clave NOS como herramientas para el debate fundamentado.

2. Utilizar recursos didácticos como los *símiles*, *comparaciones*, *analogías* y *metáforas*. Comparar diferentes aspectos del quehacer de la ciencia con situaciones más cercanas al estudiantado, de las cuales se puedan "importar" conclusiones válidas para conceptualizar el quehacer científico.

3. Fomentar procesos de *explicación*, *justificación* y *argumentación*, para poder pensar y discutir sobre la naturaleza de la ciencia de manera estructurada y basándose en pruebas o evidencias.

4. Propiciar el trabajo colaborativo de naturaleza *dialógica*, con discusiones y debates entre pares, poniendo en marcha una diversidad de estrategias de comunicación que posibiliten presentar y defender los propios puntos de vista y entender los ajenos.

5. Trabajar explícita y sostenidamente sobre la *metacognición* y la *autorregulación* conscientes de los procesos de aprendizaje, revisando cómo la naturaleza de la ciencia nos permite "separarnos" del objeto ciencia y complejizar nuestra mirada sobre él.

6. Implementar el uso de *narrativas* como vehículos para la presentación del contenido NOS. Tales narrativas, por cierto, pueden estar fabricadas con material extraído de la historia de la ciencia.

7. Ensayar el uso de diferentes formas de *inferencia* o *razonamiento* –como la deducción, la inducción, la analogía, la abducción o el pensamiento creativo– que permitan extraer conclusiones válidas y generales sobre el conocimiento científico.

En los últimos veinte años se han venido produciendo, poniendo en marcha y evaluando una gran cantidad de propuestas prácticas –fundamentadas desde marcos teóricos bien estructurados y a la vez muy diversos (por ejemplo: Désautels et al., 1993; Jiménez Aleixandre, 1996; Duschl, 1997; McComas, 1998; Izquierdo-Aymerich, 2000; Matthews, 2000; Adúriz-Bravo, 2002, 2005c, 2011a, 2011b, 2011c; Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2002, 2009; Seroglou, 2006; Hodson, 2009; Niaz, 2011; Abd-el-Khalick, 2012; Allchin, 2013)– para introducir la naturaleza de la ciencia en la educación científica de diversas poblaciones de estudiantes (desde el nivel inicial hasta el universitario) o en la formación inicial y continuada del profesorado de ciencias. Resulta interesante señalar que buena parte de las actividades didácticas NOS contenidas en todas esas propuestas comparten algunos rasgos metodológicos, que funcionan a modo de "directrices" (ver Adúriz-Bravo & Izquierdo-Aymerich, 2002) a la hora de *diseñarlas*:

1. Apuntan a reflexionar coordinadamente sobre las distintas "dimensiones" del conocimiento científico y metacientífico: contenidos, métodos, valores, finalidades, evolución, lenguajes…

2. Proporcionan diferentes "puertas de entrada" a la comprensión de la naturaleza de la ciencia (Gardner, 1991), adecuadas a la diversidad de sujetos y de objetivos con los que trabajamos en el día a día de la enseñanza. En este sentido, utilizan materiales muy variados, tales como textos literarios, casos históricos, debates mediáticos, juegos, cine y series, dibujos animados, documentales.

3. Ponen en el centro de la actividad científica escolar el uso del lenguaje. Consideran necesario enseñar, en las clases de ciencias, a "hablar y escribir" con las tipologías textuales más habituales en la práctica científica: la descripción, la clasificación, la argumentación, el artículo, el informe de laboratorio, la monografía, el póster, etc.

Bajo ninguna circunstancia la naturaleza de la ciencia debería resultar un "añadido" al currículo de ciencias "puro y duro": no basta con incorporar actividades que se reduzcan a exponer o comunicar unos "nuevos contenidos" –los metacientíficos– introducidos con fórceps en los currículos de ciencia. Más bien se trata, como se señaló, de poder usar esa naturaleza de la ciencia como una herramienta para pensar críticamente sobre la ciencia, en torno a problemas socialmente relevantes cuidadosamente seleccionados.

La idea es entonces examinar *por qué* y *para qué* diversas personas –desde las propias ciencias y desde muchas otras disciplinas cercanas a ellas– se han hecho preguntas potentes acerca de la naturaleza del conocimiento y de la actividad científicas. Además, revisar la historia para comprender que aquello que se considera o no científico ha sufrido grandes transformaciones a lo largo de los siglos. Y por último, presentar la variedad de conceptos, muy afinados, que la filosofía de la ciencia se ha inventado para poder hablar sobre la ciencia y dar a conocer a otros las imágenes de ciencia y de científico que sustenta. Todo ello queda resumido en la propuesta de generar, en las clases de ciencias, una genuina "actividad metacientífica escolar" (ver Adúriz-Bravo, 2011b).

En la siguiente sección se describe brevemente una actividad didáctica diseñada para propiciar la discusión en torno a la naturaleza de la ciencia en cualquier asignatura de ciencias de nivel secundario. Queda a los lectores la selección de los casos científicos particulares que se discutirán con las ideas epistemológicas provistas, casos que se deberían elegir según las consideraciones que se fueron exponiendo en las líneas anteriores.

3. Una actividad didáctica para enseñar la naturaleza de la ciencia

En esta sección retomamos una actividad NOS, diseñada por uno de nosotros, a fin de mostrar algunos de los elementos de fundamentación teórica y metodológica que hay detrás de su concepción y diseño; pretendemos, entonces, que sirva a los lectores a modo de "epítome" (es decir, de ejemplo paradigmático) para el diseño autónomo de sus propias intervenciones de naturaleza de la ciencia en los contextos que sean pertinentes.

La actividad se titula "Vampiros en Valaquia", y se apoya en el acercamiento de dos universos culturales aparentemente antagónicos: el *mito* y la *ciencia*. Tal actividad, justamente al contrario de lo que ha sido una estrategia estándar de la divulgación científica, *utiliza el mito para promover ideas sobre la ciencia*: a partir de la necesidad de comprender cómo las tradiciones orales y escritas "explican" las historias vinculadas a los vampiros, se infieren atributos centrales de cualquier explicación "bien formada", incluida la científica.

Desde el punto de vista metodológico, la actividad recurre a una diversidad de fuentes, que contribuyen a la habilitación de lo que más arriba denominamos *puertas de entrada al contenido NOS*, entre ellos: leyendas, textos de ficción, estudios eruditos, fragmentos de películas, recortes de prensa, iconografía y biografías históricas. Además, se utiliza toda la potencialidad de la narración, que en los últimos tiempos ha sido identificada como un recurso extremadamente valioso para la educación científica y la enseñanza de las ciencias (Ogborn et al., 1998; Navarro & Revel, 2013).

En "Vampiros en Valaquia" se trabajan principalmente dos ideas clave de naturaleza de la ciencia, con el propósito de reflexionar en torno a algunas

características de la metodología de investigación científica que enunciamos a continuación:

1. Las **observaciones científicas** están "cargadas" de la teoría desde la cual se efectúan. Esta idea remite al concepto epistemológico clásico de *carga teórica de la observación*, formulado por el epistemólogo estadounidense Norwood Russell Hanson en la década del '50 (Hanson, 1971). Se trata de reconocer (en contraposición a la proclama positivista de que "vemos" el mundo objetivamente tal cual este es) que nuestro acercamiento a los hechos se hace a través de las expectativas e ideas que proyectamos sobre la realidad, seleccionando aquello que nos resulta de interés para nuestra comprensión del mundo e intencionándolo teóricamente con nuestras maneras de hablar y de conceptualizar ese mundo.

2. Los **modelos científicos**, creados con la intención de dar sentido a los fenómenos del mundo, atraviesan y a la vez limitan la construcción de las explicaciones que proponen científicas y científicos. Las nociones teóricas que construimos son de carácter cultural, y permiten la emergencia de una manera abstracta y analógica de comprender la realidad. Estos modelos restringen aquello que se puede *pensar* sobre los sistemas que estamos estudiando (y enseñando), a la vez que orientan nuestra intervención activa en ellos (por ejemplo, a través de la experimentación) (Adúriz-Bravo, 2011a).

Abordamos estas dos ideas a través del folklore centroeuropeo renacentista referido a los vampiros (ver Aracil, 2009), y de su recreación simbólica en el cine de ficción reciente y actual.

A pesar de que se divulgaron en Occidente diferentes mitos en torno a criaturas hematófagas, tanto en la Antigüedad como en el Medioevo, se podría ubicar el origen de las leyendas sobre el vampiro *clásico* (al estilo Drácula) en el siglo XV. Desde esas fechas es fácil identificar numerosas crónicas sobre estos *monstruos* en áreas geográficas de Valaquia y Transilvania (actual Rumania) y en otras regiones del arco geográfico de los Cárpatos, en el sudeste de Europa. Las características distintivas de los vampiros llegan hasta nuestros días, aunque parcialmente distorsionadas, primero mediante la conocida figura del Conde Drácula –personaje literario creado por el escritor irlandés Bram Stoker a fines del siglo XIX, pero basado en la figura histórica de Vlad Ţepeş Drăculea– y otros personajes; luego a través de películas de horror o de corte más romántico, como la conocida saga "Crepúsculo".

La actividad didáctica se inicia distribuyendo entre los participantes una lista de observaciones pretendidamente realizadas por campesinos valacos a inicios del siglo XVII. Dichas observaciones parecen desconectadas unas de otras y remiten a fenómenos acerca de lo que ellos llaman *no-muertos*. Los campesinos relatan, por ejemplo, que los vampiros duermen rozagantes en sus ataúdes y

que de su boca emana sangre fresca, pero que cuando se los encuentra vagando en pie (siempre de noche), se visten con ropajes negros, su piel es pálida como la de los muertos y tienen colmillos largos y afilados. Estos relatos se complementan con otras recreaciones del vampiro en la literatura clásica, las artes plásticas, el cine y la televisión.

Luego se solicita a los participantes que inicien una discusión acerca de *posibles explicaciones* a la lista de características atribuidas a los vampiros. El objetivo de esta primera parte es que el estudiantado o el profesorado utilice sus concepciones iniciales a la hora de elaborar un *modelo explicativo* para las observaciones generadas por los campesinos de Valaquia. Después de la discusión grupal, el profesor o profesora que dirige la actividad presenta dos explicaciones para los fenómenos de la lista: la *mitopoética* (legendaria, con matices religiosos) y la científica.

La explicación mitopoética solo emplea el *modelo de vampiro* como referente teórico para explicar las observaciones, que quedan subsumidas en una única categoría, es decir, la de un ser sobrenatural y diabólico que se alimenta de sangre humana para mantenerse joven. Desde este modelo, entonces, las observaciones nos hablarían de criaturas que no se encuentran ni vivas ni muertas, y cuyos hábitos son de naturaleza inequívocamente malévola.

La explicación científica, en contraposición, se apoya en una hipótesis de trabajo atribuida al bioquímico residente en Canadá David Dolphin, quien sugirió que los vampiros renacentistas valacos serían pacientes de una forma rarísima de porfiria, el *mal de Günther*. Tal explicación de los vampiros requeriría usar *dos* modelos de referencia independientes entre sí. Al *modelo de paciente porfírico* Dolphin sumaría el *modelo de cadáver en descomposición*; esto permitiría dividir la lista de observaciones en dos sub-listas. En la primera se ubicarían las observaciones atribuidas a cadáveres en descomposición. La putrefacción natural genera gases orgánicos que hinchan los cuerpos (*tumefacción*) y produce una mezcla de sangre y linfa que es rojiza pero no coagula. A la segunda sub-lista pertenecerían las observaciones que pueden atribuirse a personas vivas que padecen del mal de Günther (técnicamente, *porfiria eritropoyética congénita*). Los síntomas principales de esta dolencia "ajustarían" aceptablemente con los signos del vampirismo: entre otros muchos, anemia severa (lo que explica la palidez), defectos en los dientes, que parecen inusitadamente agudos, y *actinismo* o intolerancia a la luz solar, que en estos pacientes puede provocar graves ulceraciones en la piel y los fuerza a salir de noche y con ropajes que cubren todo el cuerpo (ver Blanck-Cereijido & Cereijido, 1997).

La comparación *punto a punto* de las dos explicaciones anteriores permite a los participantes identificar la influencia que tienen los distintos *modos de explicación* fuertemente vinculados a los modelos teóricos iniciales en las

observaciones que realizan campesinos y científicos. Por ejemplo, resulta interesante tratar de explicar, siguiendo los ideales epistémicos de *plausibilidad* y *parsimonia*, por qué los vampiros más conocidos por el público son personajes de la alta nobleza rumana y húngara, como Vlad III "Drácula" y Erzsébet Báthory-Nádasdy, la famosa "Condesa Sangrienta". Desde el sentido común, la explicación mitopoética probablemente aludiría al carácter disoluto y a la vida pecaminosa de los nobles. En el intento de explicar científicamente, la propuesta es menos forzada: dado que la porfiria en cuestión es una enfermedad autosómica recesiva (es decir, que requiere que tanto el padre como la madre del enfermo sean portadores del "defecto" genético), se puede inferir que la incidencia de esta dolencia tan rara aumentaría con el casamiento entre parientes consanguíneos. Este tipo de tradiciones culturales se tornaría más frecuente en dos circunstancias que coinciden en los casos examinados anteriormente: personas que viven en pequeñas aldeas encerradas entre montañas y que además desean conservar su patrimonio económico al interior de una familia reducida.

Una vez que el estudiantado comprende estas dos ideas clave NOS, aplicadas a este ejemplo "estilizado", con aceptable solvencia teórica, estas se pueden trasladar a la discusión de casos de historia de la ciencia cuidadosamente seleccionados y preparados para la enseñanza. El desafío aquí es identificar algunos episodios científicos en los que se pueda ver la influencia de los modelos teóricos en distintos aspectos del trabajo de los investigadores.

4. Reflexiones finales

Actualmente, la naturaleza de la ciencia, entendida simultáneamente como conjunto de contenidos metateóricos a enseñar a profesores y a estudiantes *y* como discusión reflexiva y práctica sobre el valor formativo de los mismos, concita el interés de diversos actores de la educación científica formal y no formal: profesorado, estudiantado, directivos, diseñadores del currículo, decisores y administradores, científicos, didactas de las ciencias y, en menor medida, periodistas, divulgadores científicos y público en general. En este sentido, estamos frente a un panorama tanto internacional como regionalmente muy promisorio y estimulante para introducir, en nuestras prácticas de enseñanza de las ciencias, innovaciones de aula basadas en las orientaciones de la naturaleza de la ciencia.

Ahora bien, la inclusión de estas ideas novedosas en las aulas de los distintos niveles educativos nos plantea una serie de desafíos interesantes para la reflexión y potentes para la práctica de la enseñanza de las ciencias, tal como hemos intentado mostrar a lo largo de este capítulo. El diseño de lineamientos, estrategias y materiales para enseñar NOS significativamente es una tarea apasionante a la que podemos contribuir acercando nuestras necesidades, saberes y experiencias acumuladas en estos años. En esta línea, la conformación de

colectivos de trabajo multidisciplinarios constituidos por didactas, educadores, asesores, docentes, investigadores y directivos trabajando mancomunadamente con el objetivo de innovar en el campo de la naturaleza de la ciencia puede resultar un camino fructífero para la mejora de la calidad de la educación científica en nuestros países, habitualmente alejados de la reflexión teórica en este campo.

En la opinión de muchos investigadores, innovadores y docentes, la naturaleza de la ciencia configura un enorme potencial para acercarnos un poco más al objetivo de garantizar, para los niños y niñas, adolescentes y jóvenes de nuestra región, un acceso más *equitativo* y más *justo* a los beneficios que pueden aportar la ciencia y la tecnología (Gil-Pérez et al., 2005). Es por tanto consustancial a la tarea de los didactas de las ciencias y del profesorado de ciencias apoyar el tratamiento, intencionado teóricamente, de esta nueva componente curricular en las clases de ciencias, propiciando espacios de aprendizaje y de desarrollo, y movilizando recursos variados para ello.

Referencias

AA.VV. (2007). *Cuadernos para el aula: Ciencias naturales*, *6*. Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación.

Abd-el-Khalick, F. (2012). Nature of science in science education: Toward a coherent framework for synergistic research and development, en Fraser, B.J., Tobin, K, y McRobbie, C.J. (eds). *Second international handbook of science education*, pp. 1041-1060. Dordrecht: Springer.

Abd-el-Khalick, F. (2013). Teaching with and about nature of science, and science teacher knowledge domains. *Science & Education*, *22*(9), 2087–2107.

Abd-el-Khalick, F. y Lederman, N.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.

Abd-El-Khalick, F., & Akerson, V. L. (2009). The influence of metacognitive training on preservice elementary teachers' conceptions of nature of science. *International Journal of Science Education*, *31*(16), 2161-2184.

Acevedo, 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. En <http://www.apac-eureka.org/revista/Larevista.htm>.

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. (2005a). Methodology and politics: A proposal to teach the structuring ideas of the philosophy of science through the pendulum, en Matthews, M., Gauld, C. y Stinner, A. (eds.). *The pendulum: Scientific, historical, philosophical and educational perspectives*, 277-292. Dordrecht: Springer.

Adúriz-Bravo, A. (2005b). ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias?: Una cuestión actual de la investigación didáctica. *Tecné, Episteme y Didaxis*, número extraordinario (*2º Congreso sobre Formación de Profesores de Ciencias*), 23-33.

Adúriz-Bravo, A. (2005c). *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. (2006). La epistemología en la formación de profesores de ciencias. *Educación y Pedagogía*, *XVIII*(45), 25-36.

Adúriz-Bravo, A. (2008a). 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. (2008b). ¿Existirá el "método científico"?, en Galagovsky, L. (coord.). *¿Qué tienen de 'naturales' las ciencias naturales?*, 47-59. Buenos Aires: Biblos.

Adúriz-Bravo, A. (2011a). Concepto de modelo científico: Una mirada epistemológica de su evolución, en Galagovsky, L. (coord.). *Didáctica de las ciencias naturales: El caso de los modelos científicos*, 141-161. Buenos Aires: Lugar Editorial.

Adúriz-Bravo, A. (2011b). Epistemología para el profesorado de física: Operaciones transpositivas y creación de una "actividad metacientífica escolar". *Revista de Enseñanza de la Física*, *24*(1), 7-20.

Adúriz-Bravo, A. (2011c). Use of the history of science in the design of research-informed NOS materials for teacher education, en Kokkotas, P.V., Malamitsa, K.S. y Rizaki, A.A. (eds.). *Adapting historical knowledge production to the classroom*, 195-204. Rotterdam: Sense Publishers.

Adúriz-Bravo, A. (2013). School science as intervention: Conceptual and material tools and the nature of science, en Heering, P., Klassen, S. y Metz, D. (eds.). *Enabling scientific understanding through historical instruments and experiments in formal and non-formal learning environments*, 283-301. Flensburg: Flensburg University Press.

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2002). Directrices para la formación epistemológica del futuro profesorado de ciencias naturales, en Perafán, G.A. y Adúriz-Bravo, A. (comps.). *Pensamiento y conocimiento de los profesores: Debate y perspectivas internacionales*, 127-139. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). A research-informed instructional unit to teach the nature of science to pre-service science teachers. *Science & Education*, *18*(9), 1177-1192.

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). 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.

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.

Adúriz-Bravo, A. Quintanilla, M, Manrique, F. (2014) La historia de la ciencia en la literatura como insumo para la construcción de "historias de la ciencia". En Quintanilla, M.; Daza, S. & Cabrera, H. *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva clase de ciencias, promotora de ciudadanía y valores*. 8,179-201.

Allchin, D. (2013). *Teaching the nature of science: Perspectives and resources.* Saint Paul: SHiPS Education Press.

Álvarez-Lires, M. (1999a). L'histoire des sciences et des techniques dans la formation du professorat. En: DEBRU, C. (ed.), History of Science and Technology in Education and Training in Europe, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. Siglo veintiuno editores, Madrid.

Álvarez-Lires, M.. (2014) ¿Qué historia de la ciencia enseñar? Orientaciones para la formación docente. En Quintanilla, M.; Daza, S. & Cabrera, H. Historia *y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva clase de ciencias, promotora de ciudadanía y valores. 2, 52-65*

Aracil, M.G. (2009). *Vampiros: Mito y realidad de los no muertos.* Madrid: EDAF.

Audigier, F. & Fillon, P. (1991). Enseigner l'histoire des sciences et des techniques, INRP, Paris.

Bachelard G., (1972), *El compromiso racionalista*, Buenos Aires, Siglo XXI.

Bachelard, G., 1934. *Le nouvel Esprit Scientifique*. Vrin: Paris

Bachelard, G., 1938. *La formation de l'esprit scientifique*. Vrin: Paris

Bensaude-Vincent, B. (2000). L'opinion publique et la science. A chascan son ignorante. Intitut d'édition scenofi-synthélabo. Paris, 7-19.

Blanck-Cereijido, F. y Cereijido, M. (1997). *La muerte y sus ventajas.* Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.

Bonet, J.J., 2005 *Viaje al reino de Saturno*. Nivola: Madrid

Cabrera, H., Quintanilla, M.(2014). Un análisis de la estructura de dos experimentos asociados a la combustión: algunas implicaciones para la formación inicial docente. En Quintanilla, M.; Daza, S. & Cabrera, H. *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva clase de ciencias, promotora de ciudadanía y valores*., 9, 202-216.

Camacho, J., Quintanilla, M. *History of Science in the resolution of scientific problems: contributions to promote linguistic cognitive strengths for school Chemistry*. Ciência & Educação, v. 14, n. 2, p. 197-212, 2008.

Campanario, J.M. (1999). La ciencia que no enseñamos. *Enseñanza de las Ciencias*, *17*(3), 397-410.

Chalmers,A.(1999) ¿ Qué es esa cosa llamada ciencia? Editorial Siglo XXI, México.

Chamizo, J. (2007). Teaching Modern Chemistry through 'Recurrent Historical Teaching Models'. *Science & Education,* 16, p. 197–216.

Chamizo, J. (2010) Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, vol. 7, núm. 1, 2010, pp. 26-41.

Chamizo, J. (2014). La historia de la ciencia: un tema pendiente en la educación latinoamericana En Quintanilla, M.; Daza, S. & Cabrera, H. *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva clase de ciencias, promotora de ciudadanía y valores*. 2014, Cap. 4,77-100

Cochran-Smith, M., & Lytle, S. (2002). Inside and outside. Teachers doing research. Madrid: Akal. Citado por García L. y Pareja N., (2008). Innovation, research and professional development in higher education: Learning from our own experience. *Teaching and Teacher Education*. Vol. 24.

Cuellar L., Quintanilla M., Marzábal A. The Importance of the History of Chemistry in School Education. Analysis of pre-service Teacher's conceptions and Development of Teaching Materials. Education 2012, 2(7): 247-254.

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. 148 Las Competencias de Pensamiento Científico desde 'las emociones, sonidos y voces' del aula Doctorado, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. Tomado de http://www.uc.cl/sw_educ/educacion/grecia/

Désautels, J., Larochelle, M., Gagné, B. y Ruel, F. (1993). La formation à l'enseignement des sciences: Le virage épistémologique. *Didaskalia*, *1*, 49-67.

Driver, R, Guesne, E., Tiberghien, A., (1985). Children's Ideas in Science. Open University Press

Driver, R., Leach, J., Millar, R. y Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham: Open University Press.

Duschl, R. (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo.* Madrid: Narcea. (Original en inglés de 1990.)

Echeverría, J., (1995). Filosofía de la Ciencia. Madrid: Akal

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

Estany, A. Izquierdo-Aymerich, M., 2001. *La didactología, una ciencia de diseño*. Endoxa, nº 14 'Ciencia y Educación', pp. 13- 34

Estany, A., Izquierdo-Aymerich, M. (1990). La evolución del concepto de afinidad analizada desde el modelo de S. Toulmin. Llull,vol. 13 , 349-378., Barcelona.

Echeverría, R. (2003). Ontología del lenguaje. Editorial Comunicaciones Noreste Ltda. Chile.

Fauque, D. (1999). Introduire l'histoire des sciences dans l'enseignement scientifique secondaire en France, expériences et perspectives. En: DEBRU, C. (ed.), History of Science and Technology in Education and Training in Europe, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

Flick, L.B. & Lederman, N.G. (eds.) (2004). *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education*. Dordrecht: Kluwer.

Galagovsky, L. (dir.) (2011). *Química y civilización*. Buenos Aires: Asociación Química Argentina.

García-Martínez, A. (2003). Aportes del estudio histórico de instrumentos científicos a la formación del profesorado de ciencias. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Barcelona, España.

García-Martínez, A. (2014) Prácticas experimentales e instrumentos científicos en la construcción del conocimiento científico escolar. En Quintanilla, M.; Daza, S. & Cabrera, H. *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva clase de ciencias, promotora de ciudadanía y valores*.5, 101-131.

García-Martínez, A., & Izquierdo-Aymerich, M. (2014). Contribución de la Historia de las Ciencias al desarrollo profesional de docentes universitarios. *Enseñanza de las Ciencias*, 32 (1), pp. 265-281.

García, E. & Estany, A. (2010) *Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias*. Praxis Filosófica U.del Valle Ed. Colombia.

Gardner, H. (1991). *The unschooled mind: How children think and how schools should teach*. Nueva York: Basic Books.

Gauld, C. (1991). History of science, individual development and science teaching. *Research in Science Education*, 21

Giere, R. (1992) Cognitive models of Science, XV-XXVIII. In: Cognitive Models of Science, Giere.R. (Ed.). Minneapolis: Universitry of Minnesota Pres.

Giere, R. (1992). La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (original en inglés de 1988).

Giere, R. (1994) The cognitive structure of scientific theories, Philosophy of Science, 61,276-296.

Gil-Pérez, D. (1993). Contribución de la historia y filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, *11*(2), 197-212.

Gil-Pérez, D., Macedo, B., Martínez Torregrosa, J., Sifredo, C., Valdés, P. y Vilches, A. (eds.) (2005). *¿Cómo promover el interés por la cultura científica?: Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*. Santiago de Chile: UNESCO-OREALC.

Gooding D.,1992. The procedural turn: or why do thought experiments work?, in Cognitive Models of Science, R.Giere ed., pag 45-76. Minnesota: University of Minnesota press

Grossman, P. & Wineburg, S. (2000). What makes teacher community different from a gathering of teachers? Centre for the study of teaching and policy. University of Washington.

Guridi, V. y Arriassecq, I. (2004). Historia y filosofía de las ciencias en la educación polimodal: Propuesta para su incorporación al aula. *Ciência & Educação*, *10*(3), 307-316.

Hacking, I. 1996. The disunities of the sciences. En: Galison, P. y Stump, D. (eds.). *The disunity of science. Boundaries, contexts, and power*. Stanford: Stanford University, pp. 37-74.

Hanson, N.R. (1971). *Patrones de descubrimiento: Observación y explicación*. Madrid: Alianza. (Original en inglés de 1958.)

Heering, P., Hötecke, D., 2014. Historical-Investigative Approaches in Science Teaching. In '*Handbook of research in History, Philosphy and Science Teaching*', volumen 2, parte X

Hodson, D. (2009). *Teaching and learning about science: Language, theories, methods, history, traditions and values*. Rotterdam: Sense Publishers.

Hodson, D. (2014). Nature of science in the science curriculum: Origin, development, implications and shifting emphases, en Matthews, M.R. (ed.). *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*, pp. 911-970. Dordrecht: Springer.

Holton, G. (1988). *Thematic Origins of Scientific Thought*.

Holton, G., Brush, S. (2001). *Physics, the Human adventure*. Rutgers University Press

Holton, G., Brush, S., (1973). *Introduction to concepts and theories in physical sciences*. Addison-Wesley.

Irzik, G. y Nola, R. (2014). New directions for nature of science research, en Matthews, M.R. (ed.). *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*, pp. 999-1021. Dordrecht: Springer.

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. (1996). Relación entre la historia y la filosofía de la ciencia.

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., Quintanilla, M., Vallverdú, J. y Merino, C. (2014). Una nueva reflexión sobre la historia y filosofía de las ciencias y la enseñanza de las ciencias, en Quintanilla, M., Daza, S. y Cabrera, H. (eds.). *Historia y filosofía de la ciencia: Aportes para una nueva clase de ciencias, promotora de ciudadanía y valores*, pp. 30-51.

Izquierdo-Aymerich, M. (2005). Estructuras retóricas en los libros de ciencias. En Tarbiya: Revista de Investigación e Innovación Educativa, 36, 11-34.

Izquierdo-Aymerich, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. Enseñanza de las Ciencias Sociales, 6,125- 138

Izquierdo-Aymerich, M. & Adúriz, A. 2009. Physical construction of the chemical atom: Is it convenient to go all the way back? *Science & Education*, 18 (3-4), 443- 455.

Izquierdo-Aymerich, M., Quintanilla, M., Vallverdú,J. & Merino, C. (2014) Una nueva reflexión sobre la historia & filosofía de las ciencias y la enseñanza de las ciencias En Quintanilla, M.; Daza, S. & Cabrera, H. *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva clase de ciencias, promotora de ciudadanía y valores*. 1, 30-51.

Izquierdo-Aymerich, Quintanilla, Vallverdú & Merino (2007). Una nueva reflexión sobre la historia y filosofía de las ciencias y la enseñanza de las ciencias. En: Historia de la ciencia. Aportes para la formación del profesorado. Santiago de Chile: Arrayán Editores.

Jiménez-Aleixandre, M.P. (1996). *Dubidar para aprender.* Vigo: Edicións Xerais.

Jones, R., 1989. The Historiography of Science. Retrospect and Future Challenge. En Shortland, M, Warwick, A., eds,. *Teaching the History of Science*, pp. 80-99. Oxford: Blackwell.

Joshua, S. y Dupin, J.J. (2005). *Introducción a la didáctica de las ciencias y la matemática.* Buenos Aires: Colihue. (Edición original en francés de 1993.)

Khine, M.S. (ed.) (2012). *Advances in nature of science research: Concepts and methodologies.* Dordrecht: Springer.

Kragh, H. (1989). Una introducción a la Historiografía de la Ciencia, Trad. Cast.: Barcelona, Crítica.

Kragh, H. (1990). Una introducción a la Historiografía de la Ciencia, Trad. Cast.: Barcelona, Crítica.

Labarca,M., Lombardi, O. (2013) *Irreversibilidad y Pluralismo Ontológico. Una Reflexión Acerca de los Fundamentos de la Mecánica Estadística*, ISBN 978-950-793-139-0, Imago Mundi, 192 páginas,

Lederman, N.G. (2007). Nature of science: Past, present, and future, en Abell, S.K. y Lederman, N.G. (eds.). *Handbook of research on science education*, pp. 831-879. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.

Lederman, N.G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R.L. y Schwartz, R. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learner's conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, *39*(6), 497-521.

Lederman, N.G., Bartos, S.A. y Lederman, J.S. (2014). The development, use and interpretation of nature of science assessments, en Matthews, M.R. (ed.). *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*, pp. 971-997. Dordrecht: Springer.

Lederman,L. (1993)The God particle - If the Universe Is the Answer, What Is the Question? Houghton Mifflin Company, Nueva York.

Lieberman, A., & Miller, L. (Eds.). (2003). Research as a basis for teacher training and educational improvement. Barcelona: Octaedro. Citado por García L. y Pareja N., (2008). Innovation, research and professional development in higher education: Learning from our own experience. *Teaching and Teacher Education*. Vol. 24.

Lombardi, O., Labarca, M. (2007) "The Philosophy of Chemistry as a New Resource for Chemistry

Martínez, S.F. y Guillaumin, G. (comps.) (2005). *Historia, filosofía y enseñanza de la ciencia*. Ciudad de México: UNAM.

Matthews, M. (1994) Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12, 255-277.

Matthews, M.R. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, *11-12*, 141-155.

Matthews, M.R. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science.* Londres: Routledge.

Matthews, M.R. (2000). *Time for science education: How teaching the history and philosophy of pendulum motion can contribute to science literacy.* Nueva York: Plenum Publishers.

McComas, W. (ed.) (1998). *The nature of science in science education: Rationales and strategies.* Dordrecht: Kluwer.

Mellado, V. Y González, T. (2000). La formación inicial del profesorado de ciencias, En: Perales, F. y Cañal, P. (Comp.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Cap. 22. Alcoy: Ed. Marfil.

Merino, C, Izquierdo-Aymerich, M., 2011. Aportes a la modelización según el Cambio Químico *Educación Quimica, 22 (3), pp. 212-223*

Navarro, F. y Revel Chion, A. (2013). Escribir para aprender: Disciplinas y escritura en la escuela secundaria. Buenos Aires: Paidós.

Nersessian, N., 1992. How do scientist think? Capturing the Dynamics of conceptual change . En R.N. Giere ed., *'Cognitive Models of Science'pp*. 3-44. University of Minnesota Press: Mineapolis.

Niaz, M. (2011). From 'science in the making' to understanding the nature of science: An overview for science educators. Nueva York: Routledge.

Nieto, A. (2014) Las 'historias de la ciencia' y sus adaptaciones a la enseñanza: un debate abierto. En Quintanilla, M.; Daza, S. & Cabrera, H. *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva clase de ciencias, promotora de ciudadanía y valores*. 3,66-76.

Novak, J. Y Gowin B. (1988) *Aprendiendo a aprender*; traducción de Juan M. Campanario, Barcelona: Martínez Roca.

Nye, M.J., (1999). Before Big Science: the pursuit of modern chemistry and physics, 1800-1940. Cambridge: Harvard University Press

OECD (2013). PISA 2012 assessment and analytical framework: Mathematics, reading, science, problem solving and financial literacy. París: OECD Publishing.

Ogborn, J., Kress, G., Martins, I. y McGillicuddy, K. (1998). *Formas de explicar: La enseñanza de las ciencias en secundaria*. Madrid: Santillana/Aula XXI. (Original en inglés de 1996.)

Perkins, N., (1989). *Knowledge as design*. New Jersey: Lawrece Erlbaum.

Pujalte, A.P., Adúriz-Bravo, A. y Porro, S. (2014). De la imagen de ciencia declarativa a la de la práctica en el aula: Las imágenes del profesorado entre la visión democrática y la deficitaria. *Uni-Pluri/versidad*, *14* (2), 111-117.

Putnam R. T. & Borko, H. (1997). Teacher learning: Implications of New Views of Cognition. En B. J. Biddle et al (Eds), *International Handbook of Teachers and Teaching*. Amsterdam: Kluwer Academic. p. 1223-1296

Quintanilla et al. (2014) *Las Competencias de pensamiento científico desde las emociones, sonidos y voces del aula*. Santiago, Chile. Editorial Bellaterra.

Quintanilla et al. *Las Competencias de pensamiento científico desde las voces del aula*. Santiago, Chile. Editorial Bellaterra; 2012

Quintanilla M, Merino C, Cuellar L. (2012)*Discourse analysis of practicing chemistry teachers and its contribution to the assessment of scientific thinking competences. A case study in Chile*. Educación Química.; 23(2):188-191.

Quintanilla, M et al., (2006). Relación entre la HC y la FC II. *Alambique*, pp. 78

Quintanilla, M. (2005). Historia de la ciencia y formación del profesorado: Una necesidad irreductible. Segundo congreso sobre Formación de Profesores de Ciencias. Revista de la Facultad de Ciencias y Tecnología. Número extra.

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., Daza, S. y Cabrera, H. (2014). *Historia y filosofía de la ciencia: Aportes para una nueva clase de ciencias, promotora de ciudadanía y valores*.

Quintanilla, M., Izquierdo-Aymerich, 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' 96 Las Competencias de Pensamiento Científico desde 'las emociones, sonidos y voces' del aula professional formation Science & Education IHPST 8, 15 –18 July, University of Leeds.

Quintanilla, M., Joglar, C., Labarrere, A., Merino, C.Cuellar, L., Koponen,I. (2014) What do Chemistry Teachers Think about School Scientific Problem Solving and Scientific Thinking Competences? Revista Estudios Pedagógicos de Valdivia, 40. On-line.

Quintanilla, M., Orellana, M. L., Daza, S. (2011) La ciencia en las primeras edades como promotora de competencias de pensamiento científico. En: La Enseñanza De Las Ciencias Naturales en las primeras edades, 2,59-82. Editorial Litodigital, Colombia.

Quintanilla, M., Solsona, N. García, A., Álvarez-Lires, M. (2014) Uso de la Historia de la Química como dispositivo teórico y praxiológico para promover Competencias de Pensamiento Científico.3,53-96

Quintanilla, M.; Daza, S. & Cabrera, H. *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva clase de ciencias, promotora de ciudadanía y valores*. 2014.

Quintanilla, M. et al, 2006. Relación entre la historia y la filosofía de las ciencias II. *Alambique, 48, 78-91*

Quintanilla, M., Cuellar, L., Cabrera, H. (2014) Una visión naturalizada de la historia de la química: el caso del modelo atómico de John Dalton. En Quintanilla, M.; Daza, S. & Cabrera, H. *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva clase de ciencias, promotora de ciudadanía y valores*. 10, 217-232.

Sanmartí, N, Izquierdo-Aymerich, M., Atson, R. 1995. The substantialization of properties in Pupils' Thinking and in the History of Science. *Science and Education,* 4: 349- 369, 1995.

Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la Educación Secundaria Obligatoria*. Madrid: Síntesis.

Seroglou, F. (2006). *Ciencias naturales para la educación del ciudadano*. Tesalónica: Epíkentros. (En griego.)

Shortland, M, Warwick, A., eds, (1989). *Teaching the History of Science*. Oxford: Blackwell

Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. Harvard Educational Review, 57(1). Citado por Park & Oliver (2007). Revisiting the Conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK): PCK as a Conceptual Tool to Understand Teachers as Professionals. *Research Science Education*. Springer

Simon, M., et al., 1995. Lavoisier i el llenguatge simbòlic. *Actes de les III Trobades d'Història e la Ciència I de la Tècnica*, pp. 377-384

Solsona et al., 2013. 'Convesations on Chemistry, recreación teatral. En IX Congreso Enseñanza de las Ciencias, Girona

Solsona, N. (1997) Mujeres científicas de todos los tiempos, Talasa, Madrid.

Solsona,N. (2014).Las mujeres en la historia de la Ciencia. En Quintanilla, M.; Daza, S. & Cabrera, H. *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva clase de ciencias, promotora de ciudadanía y valores*. 2014 Cap. 7,155-177.

Steven Shapin and Barry Barnes (1977).Science, Nature and Control:Interpreting Mechanics' Institutes. Social Studies of Science, Vo1.7, 31-74

Sutton,C. (2011) Los profesores de ciencias como profesores de lenguaje. Enseñanza de las Ciencias, 2003, 21 (1), 21-25

Talanquer.V. (1990) Física para Químicos [Physics for chemists]. Educación Química. 1 (3) 134 (1990). Toulmin, S. (1972). *Human Understanding*. Oxford: Clarendon Press.

Toulmin, Stephen. 1972. Human Understanding, volume 1 The Collective Use and Development of Concepts. Oxford: Clarendon Press.

Vallverdú, Jordi (2002): Marco teórico de las controversias científicas: el caso de la sacarina, Bellaterra: UAB, Tesis Doctoral.

Vázquez Alonso, Á. y Manassero Mas, M.A. (2011). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (parte 1): Una revisión de las aportaciones de la investigación didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, *9*(1), 2-31.

Vygotsky (1998). *Pensamiento y lenguaje*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación.

Wandersee, J.H. & Baudoin, P. (2002), The History of Chemistry: Potential and Actual Contributions to Chemical Education, En: J.K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D.F. Treagust and J.H. Van driel (eds.), Chemical Education: Towards Research-based Practice, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Wang, H.A. y Schmidt, W.H. (2001). History, philosophy and sociology of science in science education: Results from the Third International Mathematics and Science Study. *Science & Education*, *10*(1), 51-70.

Wittgenstein, L. 1967. *The Philosophical Investigations*. Oxford: Blackwell

RESEÑA DE AUTORES

Mercè Izquierdo Aymerich

Es doctora en química, Catedrática de Universidad de Didáctica de las ciencias en la UAB. Ha sido profesora de química en secundaria y en la universidad, de didáctica de las ciencias, de química y de historia de la química en la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Se ha dedicado especialmente a la formación de profesores de ciencias (química) de primaria y secundaria. Su investigación se dedica a lenguaje y la historia de la química, siempre en relación a la enseñanza de las ciencias. Forma parte del grupo investigación LIEC (Lenguaje y enseñanza de las ciencias) , del cual fue la primera directora y a la fundamentación histórica y filosófica de la didáctica de las Ciencias, con énfasis en el currículo. Forma parte también del CEHIC, (Centro de Estudios de Historia de la Ciencia) desde su creación como Seminario en 1983. Ha sido presidenta del Colegio profesional de profesores, responsable de Formación de profesores en el Departament d'Ensenyament (Generalitat de Catalunya) y vicerectora en la UAB. Ha publicado numerosos artículos, capítulos de libro y libros sobre los resultados de las investigaciones que ha dirigido.

Álvaro García Martínez

Es doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales y se desempeña como profesor titular de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Su experiencia profesional se ha generado como profesor de secundaria y universidad en el campo de la enseñanza de la química y como formador de profesores de ciencias de primaria, secundaria y universidad. Se ha dedicado a la investigación en enseñanza de las ciencias en líneas tales como relaciones entre la historia de las ciencias y la filosofía de las ciencias, la comunicación en ciencias y, TIC y enseñanza de las ciencias. Es miembro fundador del grupo DIDAQUIM y actualmente dirige el Grupo de Investigación en Educación en Ciencias Experimentales, GREECE, y pertenece a la Red Latinoamericana de Investigadores en Didáctica de las Ciencias. Ha publicado artículos, capítulos de libros y libros, producto de investigaciones adelantadas con financiación local y de Colciencias, y a nivel internacional con Conicyt y la Unión Europea.

Mario Quintanilla Gatica

Doctor de la Universidad Autónoma de Barcelona, España**,** Profesor Asociado de la Facultad de Educación de la Universidad Católica de Chile. Director del Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias GRECIA-UC (www.

laboratoriogrecia.cl). Asesor educativo y consultor internacional de diversos proyectos educativo-científicos en Israel, España, Inglaterra, Holanda y Latinoamérica. En Chile desde 1998 ha sido Director, Investigador Principal, Asesor o Co-investigador de más de 40 proyectos Nacionales, Binacionales y multilaterales de I & D. Su prolífica producción científica incluye artículos, libros, capítulos de libros y Actas en Congresos científicos vinculantes. Autor y Co-autor de libros de enseñanza de las ciencias y formación del profesorado. Su líneas de investigación con enfoque cualitativo se refieren a la Historia de la ciencia, divulgación y aprendizaje; lenguaje científico, discurso y aprendizaje y *competencias de pensamiento científico y aprendizaje*. Del mismo modo es o ha sido Director y Co-director Nacional e Internacional de 25 tesis de maestría y doctorado en enseñanza de las ciencias naturales desde el 2000. En 2015 recibió por cuarta vez el Premio a la Excelencia en Investigación (PREI) que anualmente otorga la Vicerrectoría Académica, de Investigación y de Posgrado (VRAID) de la Universidad Católica a sus docentes más destacados. Lideró el Proyecto *Formación de profesores de ciencia, desarrollo de competencias de pensamiento científico, ciudadanía y valores* (abrev.) con la U. de Helsinki (2010-2014) proyecto que se ha extendido hasta 2019 con el patrocinio de la Academia de Ciencias de Finlandia y la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT).Actualmente es el Presidente de la Red Latinoamérica de Investigadores en Didáctica de las Ciencias (REDLAD).

Agustín Adúriz-Bravo

Nació en Buenos Aires, Argentina, en 1971. Estudió física, epistemología y didáctica de las ciencias en la Universidad de Buenos Aires, la Universitat Autònoma de Barcelona y el King's College London. Actualmente se desempeña como Investigador Independiente del CONICET, como Docente-Investigador en el Instituto CeFIEC de la UBA y en el IEC de la Universidad Nacional de Tierra del Fuego, y como Director Académico de varias carreras de postgrado en didáctica de las ciencias. En el CeFIEC dirige el GEHyD-Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales, un grupo de investigación e innovación dedicado a las aportaciones de las metaciencias a la educación científica. Su línea principal de trabajo es la didáctica de la epistemología en la formación inicial y continuada del profesorado de ciencias para todos los niveles educativos. Es además Profesor Visitante con continuidad de una decena de universidades de Europa (España, Grecia) y de América (Argentina, Chile, Colombia), y autor de más de 350 publicaciones en distintos formatos.

La Didáctica de las Ciencias ha venido desarrollando diversas líneas de investigación que contribuyen al mejoramiento de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias en la escuela, en ese contexto, la enseñanza de las ciencias con apoyo de la historia y filosofía de las ciencias se ha venido consolidando como una línea fructífera en esta tarea. Los medios de difusión en esta línea, en términos de revistas, secciones en revistas especializadas, eventos y grupos académicos, han venido en aumento en los últimos años, fortaleciendo cada vez más este campo.

En este libro se da cuenta de algunos avances investigativos en el campo por parte de nuestros grupos académicos en los que nos desempañamos, producto de trabajos de investigación que hemos desarrollado en conjunto, en particular en el proyecto de investigación titulado *Caracterización de un modelo de formación continua de profesores de ciencias naturales con base en la promoción de Competencias de Pensamiento Científico. Su aporte teórico y metodológico al mejoramiento de la educación científica en Chile y Colombia con base en la investigación en didáctica de las ciencias*, financiado por Colciencias (Colombia) y Conicyt (Chile).

En esta obra se aborda el tema de las relaciones entre la didáctica de las ciencias con la historia de la ciencia y la filosofía de las ciencias para contribuir a la formación del profesorado de ciencias, se han incluido propuestas de aplicación de los elementos desarrollados para aportar a la cualificación docente tanto en su formación inicial como a los que se encuentran en ejercicio.

Serie Investigaciones

9 789588 972275

UD Editorial