

Historia y filosofía de la ciencia

*Aportes para una 'nueva aula de ciencias',
promotora de ciudadanía y valores.*



Mario Quintanilla Gatica
Silvio Daza Rosales
Henry Cabrera Castillo
Compiladores

El conocimiento no es resultado de la aplicación de unas reglas científicas sino un acto de inspiración cuyo origen me es vedado, pero cuya responsabilidad me es exigida. Uno no escoge los temas, dice Sábato los temas lo escoge a uno. La creación esconde la utopía, la aspiración a un mundo nuevo y distinto que puede ser tanto más real cuanto más simple. Las cosas suelen no estar más allá sino más acá. La creación es el movimiento de la vida. Crear es, al fin y al cabo, un acto ético.

(Alfredo Molano)

Historia y Filosofía de la Ciencia

Aportes para una “nueva aula de ciencias”, promotora de ciudadanía y valores

Mario Quintanilla Gatica, Silvio Daza Rosales, Henry Giovany
Cabrera Castillo
(Compiladores y Autores)

A. Nieto, A. Adúriz, A.Zambon, Á.García, A.Rocca, A.Pessoa, C.Joglar, C.
Merino, E. Muñoz, F. Manrique, G. Saffer, G. Calderón, J. Vallverdú,
J.Chamizo, R.Arrieta, L.González, L Cuellar, L.Sasseron, M. Álvarez, M.
Labarca, M. Izquierdo, N. Solsona, P. Cekalovic, R. De La Fuente, R.Paez,
V. Astroza y Y. Gómez.



Historia y Filosofía de la Ciencia

Aportes para una “nueva aula de ciencias”, promotora de ciudadanía y valores

Teoría y Práctica de la Historia y Filosofía de la Ciencia en la Formación de Profesores de Ciencia y en la Enseñanza

Mario Quintanilla Gatica, Silvio Daza Rosales, Henry Giovany
Cabrera Castillo

(Compiladores y Autores)

A. Nieto, A. Adúriz – Bravo, A.Zambon, Á.García, A.Rocca, A.Pessoa,
C.Joglar, C. Merino, E. Muñoz F. Manrique, G. Saffer, G. Calderón, J.
Vallverdú, J.Chamizo, R.Arrieta, L.González, L Cuellar, L.Sasseron, M.
Álvarez, M. Labarca, M. Izquierdo, N. Solsona, P. Cekalovic, R. De La
Fuente, R.Paez, V. Astroza y Y. Gómez.

Producto científico derivado del Proyecto AKA04 (2010-2014) y del
Proyecto PCCI 130073, ambos patrocinados por la Dirección de Relaciones
Internacionales de la Comisión Nacional de Investigación Científica y
Tecnológica (CONICYT) de Chile y COLCIENCIAS de Colombia.

Santiago de Chile
2014

Director de la Colección: Mario Quintanilla Gatica.
Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra).
Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A.).
Facultad de Educación. Pontificia Universidad Católica de Chile

Compiladores del volumen: Mario Quintanilla Gatica, Silvio Daza Rosales y Henry
Giovany Cabrera Castillo

Autores y Autoras: Agustí Nieto Galan, Agustín Aduríz Bravo, Alfio Zambon, Álvaro
García Martínez, Ana María Rocca, Anna Maria Pessoa de Carvalho, Carol Joglar Campos,
Cristian Merino Rubilar, Enrique Luis Muñoz Velez, Franklin Manrique, Gerardo Saffer,
Guillermo Ignacio Calderón López, Henry Cabrera Castillo, Jordi Vallverdú, José Antonio
Chamizo, José Rafael Arrieta Vergara, Leonardo González Galli, Luigi Cuellar Fernández,
Lúcia Helena Sasseron, Mario Quintanilla Gatica, Mari Alvarez Lires, Martín Labarca,
Mercè Izquierdo, Núria Solsona Pairó, Paula Cekalovic, , Ricardo De La Fuente, Rodrigo
Paez, Silvio Daza Rosales, Verónica Astroza y Yadrán Gómez Martínez.

De esta Edición

© Bellaterra. Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia.
Calle Toesca 2946. Oficina 309
Santiago de Chile. Teléfono (56)-(2) 226890028
www.sociedadbellaterra.cl

© INYUBA. Escuela de Ingeniería Agronómica, Instituto Universitario de la Paz, UNIPAZ,
Barrancabermeja, Santander, Colombia, Autopista Barranca/Bucaramanga, Teléfono
3164960770.

dir.agronomica@unipaz.edu.co

1ª edición Octubre 2014
Nº de inscripción 178103
ISBN 978-958-8289-47-2
ISBN obra completa 978.956-332-719-9

Editorial Bellaterra Ltda.

Edición: Mario Quintanilla Gatica
Revisión de estilo: Mario Quintanilla Gatica.
Corrección literaria: Henry Giovany Cabrera Castillo.
Diseño de portada: Juan David Alvarado.
Impresión: Magic Box Publicidad

Impreso en Colombia.

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

Todos los Derechos Reservados.

Agradecimientos

Queremos manifestar nuestra sentida gratitud a todos/as los investigadores/as y profesores/as que generosamente permitieron la edición corregida y aumentada de la obra publicada el 2007.

A los/as autores/as que integran la Red Latinoamericana de investigación en Didácticas las Ciencias (REDLAD), procedentes de Argentina, Brasil, Chile, Colombia y México.

A nuestras amigas, autoras e investigadoras de Cataluña y Galicia, por sus permanentes aportes a la construcción de la utopía. Gracias queridas Mercé, Nuria y Mari.

A la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de las Ciencias, entidad que asume un nuevo desafío de producción literaria orientado a la formación inicial y permanente del profesorado de química, biología y física.

Al colectivo de investigadores/as del Laboratorio de investigación en Didáctica de las Ciencias G.R.E.C.I.A. de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Al Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ) , en particular a su Rector Oscar Orlando Porras Atencia que no dudó un instante en aprobar el proyecto editorial y financiar íntegramente su producción en las tierras santandereanas Del mismo modo al Grupo de investigación en cultivos tropicales y Enseñanza de las ciencias (INYUBA) de la misma Casa de Estudios.

Al Proyecto de Cooperación Científica Internacional (PCCI) CONICYT-COLCIENCIAS (PCCI130073).

Al proyecto VRA024/14 de Movilidad Académica de la Dirección de Relaciones Internacionales de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

A nuestro gran amigo Juan David Alvarado con su diseño Pintura al óleo en un escenario natural combinado con vectores de manos infantiles. Las manos como instrumentos de conocimiento productivo y estético en la transformación de la naturaleza, la sociedad y el pensamiento generando símbolos para una mejor comprensión de la enseñanza humana.

Los compiladores

Santiago de Chile, octubre 2014

Índice

<i>Prólogo</i>	11
<i>Mario Quintanilla</i>	
<i>Presentación de la obra</i>	14
<i>Enrique Muñoz, Silvio Daza, Mario Quintanilla</i>	
Primera parte	
Fundamentos teóricos para la formación del profesorado y el aprendizaje de las ciencias	29
CAPÍTULO 1	
Una nueva reflexión sobre la historia & filosofía de las ciencias y la enseñanza de las ciencias	30
<i>Mercè Izquierdo, Mario Quintanilla, Jordi Vallverdú, Cristián Merino</i>	
CAPÍTULO 2	
Algunas orientaciones para la formación docente en historia de las ciencias	52
<i>Mari Álvarez</i>	
CAPÍTULO 3	
Las 'historias de la ciencia' y sus adaptaciones a la enseñanza: un debate abierto	66
<i>Agustí Nieto</i>	
CAPÍTULO 4	
La historia de la ciencia: un tema pendiente en la educación latinoamericana	77
<i>José A. Chamizo</i>	
CAPÍTULO 5	
Prácticas experimentales e instrumentos científicos en la construcción del conocimiento científico escolar	101
<i>Álvaro García</i>	
CAPÍTULO 6	
¿Qué sentido tiene la naturaleza de la ciencia y la historia de la ciencia en la formación ciudadana y valórica de un ser planetario?	132
<i>Silvio Daza, José Arrieta, Enrique Muñoz</i>	
CAPÍTULO 7	
Las Mujeres en la Historia de la Ciencia	155
<i>Núria Solsona</i>	

Segunda Parte Algunas aplicaciones innovadoras para utilizar la historia y filosofía de la ciencia en el aula	178
--	------------

CAPÍTULO 8 La historia de la ciencia en la literatura como insumo para la construcción de “historias de la ciencia” <i>Agustín Adúriz, Franklin Manrique y Mario Quintanilla</i>	179
--	------------

CAPÍTULO 9 Un análisis de la estructura de dos experimentos asociados a la combustión: algunas implicaciones para la formación inicial docente <i>Henry Cabrera, Mario Quintanilla</i>	202
--	------------

CAPÍTULO 10 Una visión naturalizada de la historia de la química: el caso del modelo atómico de John Dalton <i>Mario Quintanilla, Luigi Cuellar, Henry Cabrera</i>	217
--	------------

CAPÍTULO 11 Aspectos histórico-filosóficos del concepto de “elemento”. Aportes para la formación inicial y continua de profesores de ciencias <i>Martín Labarca, Alfio Zambon, Mario Quintanilla.</i>	233
---	------------

CAPÍTULO 12 Historia de la microscopía. Aportes para la solución de problemas científicos en la clase de química <i>Rodrigo Paez, Guillermo Calderón, Carol Joglar</i>	250
--	------------

CAPÍTULO 13 “Darwin teleólogo” y “el eclipse del darwinismo”: dos casos para repensar la historia del evolucionismo. <i>Leonardo González</i>	266
---	------------

CAPÍTULO 14
La membrana plasmática. El desarrollo histórico del modelo y su uso en el aula. **285**

Carol Joglar, María Astroza, Ricardo de la Fuente, Paula Cekalovic, Ana Rocca

CAPÍTULO 15
Nicolás Copérnico desde una propuesta realista pragmática de la historia ciencia **305**

Mario Quintanilla, Gerardo Saffer, Mercè Izquierdo, Agustín Adúriz

CAPÍTULO 16
Naturaleza de la Ciencia en la enseñanza de la física. Algunas consideraciones relevantes y ejemplos en el aula. **321**

Yadrán Gómez, Anna Pessoa, Lúcia Sasseron

Los Autores **342**

Prólogo

El conocimiento científico se ha ido construyendo y configurando en un proceso histórico complejo demandado y materializado a través de los siglos y las culturas, sobre cimientos condicionados o muchas veces determinados por creencias, prejuicios, conflictos de poder, influencias religiosas, crisis políticas, disputas de valores e incluso la emergencia, me atrevo a decir, de toda esa emocionalidad que nos estimula a preguntarnos a diario por los sentidos de nuestras propias vidas.

Este nuevo libro se constituye, como habitualmente lo aclaro en otras publicaciones y conferencias, en un nuevo aporte a la comunidad educativa y científica de la *Red Latinoamericana de Investigadores en Didáctica de las Ciencias (REDLAD)*. Corresponde a una versión revisada y aumentada de los libros *Historia de la Ciencia. Aportes para la formación del profesorado* (Vol.1) e *Historia de la Ciencia. Aportes para su divulgación y enseñanza* (Vol.2), publicados el 2007 en Santiago de Chile. Han transcurrido siete años desde entonces y como diría Pablo Neruda, *nosotros los de entonces, ya no somos los mismos* (Veinte poemas de amor y una canción desesperada). El 'nuevo' libro, pretende razonablemente, contribuir a la necesaria vinculación teórica y práctica entre la historia y la filosofía de la ciencia consideradas disciplinas relevantes en la formación inicial y permanente del profesorado de ciencias naturales.

En general, la ciencia que se 'enseña' en la escuela o en las universidades, se hace de manera ahistórica, que por su tradición configura un estereotipo en el que prima la supuesta objetividad, racionalidad, exactitud, precisión, neutralidad y formalización del conocimiento, como si las teorías y fenómenos científicos se generaran de manera invariable en el tiempo. Ello ha legado a la educación científica, particularmente en América Latina, una concepción elitista que se manifiesta en nuestros sistemas educativos formales de diferentes maneras, sólo para citar algunas de ellas diremos que su presencia es escasa a edades tempranas; que el propio contenido enseñado la aleja de los problemas de los estudiantes y de sus intereses y por la propia imagen de ciencia que aún se maneja en nuestras aulas.

En un momento en el cual las inequidades aumentan, las injusticias sociales también y además se hacen llamados de alerta desde distintos ámbitos acerca de la necesidad de comprometerse con la construcción de un futuro sostenible, sabemos que sólo con una educación de calidad para todos sin exclusiones podremos cambiar estas realidades. Una educación para todos sin exclusiones implica asegurar a todas y todos, aprendizajes de calidad. En un mundo impactado por los avances de la ciencia y de la tecnología, seguir manteniendo a la mayoría de nuestra población al margen de una formación científica como base de la formación ciudadana implica seguir marginando a hombres y mujeres de la toma de decisiones fundamentadas y de ejercer plenamente la ciudadanía.

La escuela como lugar intencional del aprendizaje de las ciencias en particular, debe asegurar a todos esa educación de calidad, la que debe incluir, sin ningún lugar a discusión, una ciencia de calidad para todos con 'espíritu y aspecto' ciudadano. Sin embargo, la mayoría de las clases de ciencias transmiten una imagen de ciencia reduccionista, bastante alejada de los contextos culturales, sociales o políticos en que científicos y científicas han contribuido al desarrollo sistemático, permanente y continuo del conocimiento. Es por ello que la mayoría de los estudiantes poseen una visión deformada de la naturaleza de la ciencia, su objeto y método de estudio, así de cómo se construyen y evolucionan los conocimientos científicos e ignoran sus repercusiones sociales, lo que en algunas ocasiones, sino en la mayoría, produce una actitud de rechazo hacia el área científica y dificulta su aprendizaje y comprensión. De esta manera, una parte importante de los alumnos en clase de ciencias se desmotivan, no se involucran con un aprendizaje que consideran poco relacionado con sus intereses y con sus necesidades, les resulta difícil y no se apropian de los conocimientos científicos necesarios para comprender, actuar y participar en la sociedad que les toque vivir. Se sigue reproduciendo así una 'ciencia para pocos', una ciencia 'de fórmulas y definiciones', de 'habilidades y destrezas', en desmedro de una “ciencia para “todos/as”, una ciencia 'de competencias de pensamiento científico”.

Esta situación, de no superarse, atenta contra una distribución más equitativa del conocimiento, nos conduce a evidenciar la necesidad de cambiar lo que sucede en nuestras aulas de ciencias. Asimismo se puede decir o pensar que cambios educativos no han faltado en América Latina en estos últimos años. Hemos vivido reformas tras reformas, sin embargo hemos involucrado poco en estos cambios a uno de los sujetos principales de los aprendizajes, de la producción de conocimiento didáctico y de la gestión educativa, a los *profesores de ciencias*. Ellos /as son los verdaderos autores/as y actores de la educación científica ciudadana. Los cambios en muchos casos han sido orientados a 'innovaciones' curriculares, libros de texto 'motivadores', tecnologías de la información y la comunicación 'al servicio del aprendizaje', sin entrar a discutir o debatir teóricamente y en profundidad, las finalidades o sentidos de estas, a mi modo de ver, incompletas e inacabadas transformaciones que son, en su mayoría, acciones de carácter instrumental o superficial.

Un análisis epistemológico de mayor consistencia y excede la intención de este prólogo. Sólo quiero expresar que autoridades, legisladores y algunos 'expertos en educación' hablan mucho de cuáles deberían ser los cambios, articulando la mayoría de las veces una visión reduccionista del aprendizaje, la enseñanza y la evaluación. De ello nos ocuparemos en otro libro. Sin embargo, poco o nada se ha puesto en cuestión, en cómo, dónde y a partir de qué directrices epistémicas y metodológicas se forman los docentes de ciencias. Pienso realmente que este aspecto está en el corazón del problema de una educación científica promotora de sujetos competentes y de ciudadanía.

En un momento en el que asegurar aprendizajes científicos de calidad a todos los estudiantes ya no es sólo un compromiso educativo, sino que es además constituye un imperativo cultural, político, ético y social, este libro es un aporte discreto y de calidad en este ámbito del debate educativo. Los autores a través de sus enfoques y sus miradas al problema logran provocar a partir de la lectura, el cuestionamiento y la movilización necesaria para que nos comprometamos con este camino de búsqueda para ofrecer a todos nuestros niños, niñas, adolescentes, jóvenes y adultos, más y mejores oportunidades de aprender y seguir aprendiendo ciencia a lo largo de toda la vida.

Esperamos que a cada uno de ustedes, la lectura los convoque como a nos ha convocado a nosotros al sistematizarlo, simbolizarlo y compilarlo. Un libro fruto del aporte generoso y continuo de investigadores de vasta trayectoria, de noveles doctores y de profesores de aula de Argentina, Brasil, Colombia, Chile, España y México. Todos ellos/as comprometidos/as con un futuro educativo de calidad con equidad en nuestra América Latina.

Mario Quintanilla Gatica
Presidente de la Sociedad
Chilena de Didáctica, Historia
y Filosofía de la Ciencia. (Bellaterra)
President 3°LA-IHPST Group.

Santiago de Chile, 17 de noviembre de 2014

Presentación de la obra

Iniciar la presentación de un libro metateórico incorporando el valor estético como antesala de sus contenidos, no es habitual. Para nosotros, su creación es un aporte de talento e inteligencia genuina, que nos invita al vínculo entre pensar, conocer y sentir. Juan David Alvarado, artista santandereano con su diseño de pintura al óleo en un escenario natural, combinado con vectores de manos infantiles en cuatro tonos básicos de colores verde oscuro, verde aguamarina o limón y naranja claro; cada uno de los colores en las manos simboliza para el artista, lo que denomina una edad de aprendizaje, verde más claro (infantil) y naranja (primera juventud). Todas las manos se extienden hacia arriba tratando en su tiempo alcanzar la manzana (fruto del árbol de la ciencia) y en el centro de la manzana del árbol del conocimiento un modelo atómico como unas de las tantas representaciones creativas explicativas que el pensamiento hace de la realidad.

Las manos como instrumentos de conocimiento productivo y estético en la intervención y transformación de la naturaleza y el pensamiento de cada sujeto individual y colectivo generando símbolos para una mejor comprensión de la educación científica.

Juan David Alvarado nos muestra desde la pintura y el diseño gráfico las imágenes que se sobrepone, se encuentran dos árboles de fondo y el escenario de un atardecer natural con visos de colores lila y azul alborada. Es una alegoría donde se expresan lenguajes diversos a partir de las manos como instrumentos que pretenden representar ese vínculo a veces negado, oprimido, omitido o despreciado entre la ciencia y el arte. El color verde adquiere la significación de la esperanza por una naturaleza plena de vida y armonía por medio de metáforas visuales.

La portada presagia un profundo contenido de conocimientos científicos, expuestos por especialistas de vasta trayectoria en el campo de conocimiento seleccionado: Historia y Filosofía de la Ciencia, que contribuye a una 'nueva aula de ciencias', promotora de ciencia y ciudadanía. Ello acontece razonablemente en todos y cada uno de los textos que configuran el libro. Propuestas audaces, polémicas, interesantes, inacabadas o en tránsito teórico, en la incesante búsqueda de nuevas estrategias y modelos de formación y desarrollo (inicial y continuo) de profesores/as de ciencias naturales que colaboren a la calidad de la educación científica en su enfoque ciudadano.

Una de las finalidades de la historia y la filosofía de la ciencia ha de ser, pensamos, la sistematización razonable de las diferentes fuentes en los caminos de la investigación científica. La labor científica de historiadores/as y filósofos/as es compleja, se constituye en un acervo documental valioso de debates no sólo científicos, también axiológicos, culturales y políticos. Pensar con teoría, experimentar y reflexionar son tareas habituales de la ciencia que se han de enseñar a aprender a profesores/as y estudiantes.

Naturaleza, sociedad y pensamiento configuran la unidad tripartita. La unidad en la diferencia de cosmovisiones que desde el pasado más remoto nos lleva a buscar el espejo holístico de varios mundos. Ello requiere y exige métodos y modelos

teóricos que faciliten la generación de explicaciones estructurales de la ciencia hoy en un mundo complejo, en el imperio de la globalización. Historia y filosofía de la ciencia revitalizan los nuevos aportes del conocimiento científico donde otro tipo de inteligencia participa a través de modernas tecnologías, tales como: la Internet.

Las fuentes y objetos materiales, acervos culturales y formales de la ciencia que ayer se consideraron menores, hoy ocupan un importante papel útil en su uso (fotografías, pinturas, prensa, literatura y en menor grado la oralidad de la cultura popular de la hierbatería y herbolaria) dejan de ser subdisciplinas para conformar un arsenal facilitador en el robustecimiento de la ciencia, gracias a la historia y la filosofía.

El debate del pasado y el presente en la arquitectura de la construcción discursiva de la historia y la filosofía de la ciencia. El discurrir como flujo del tiempo. Dialéctica en la movilidad de la naturaleza y de la historia por medio de la categoría filosófica que pone en sintonía el tránsito de la humanidad de los relatos de la palabra ciencia. Palabra concebida desde el vientre parturiente de la filología. El filólogo es el amante de la palabra como el científico ama y pretende el saber diverso de la ciencia.

Historia y filosofía de la ciencia nos conducen a la reflexión reposada, seria y serena de educar desde los aportes para una nueva aula de ciencias, promotora de ciudadanía y valores. Aquí, se desea puntualizar los imaginarios sociales que vislumbrara hace algunas décadas el filósofo griego Cornelio Castoriadis (1922 – 1997). Los imaginarios sociales son el conjunto de ideas y representaciones simbólicas a nivel mental que en el desarrollo de la historia de la humanidad han construido para hacer lectura de las claves y códigos ciudadanos de poner en evidencia los valores y principios de las comunidades y maneras de intervenir en el mundo. El imaginario social es parte de la inventiva de los pueblos en apropiarse de sus valores y ponerlos en prácticas a través de la convivencia sana y armónica aún en los disensos más ingenuos o provocadores.

Cabe preguntarse desde la arena misma de la axiología, ¿qué son los valores? Los valores no existen como tal. Existen a partir de algo o de alguien. El algo nos remite a la naturaleza sin mayor especificidad, de qué naturaleza se trata. El alguien ya implica la persona y en ella se subsume la vida. Y, con ella, se generan todos los valores y principios. Con Max Scheler (1874 – 1928) se abre un horizonte vital de los valores y referencia a Kant, para establecer nexos orgánicos entre la filosofía y la antropología que pregunta por el hombre y la mujer.

Entre tanto, puede expresarse que, hombres y mujeres de ciencia en su sentido plural y de género es comprendido por la historia y la filosofía en su natural complejidad cultural para promover, estimular y divulgar en el aula el avance de prácticas de ciudadanía y valores. Se aspira a formar ciudadano/as conscientes de su estar ahí – en la naturaleza –, de su historicidad y empoderamiento armónico con el medio ambiente, matrimoniado amorosamente con el ecosistema y así, desde una multiplicidad de voces, interpretar el mundo con teoría, comprenderlo y apropiarlo.

Los valores y las ciudadanías son construcciones posibles desde la historia y la filosofía de la ciencia por medio de una enseñanza integral en el aula como elemento socializador de saberes de convivencia humana. Es como si en este tiempo a

partir de la vida redescubrimos “El puesto del hombre en el cosmos” en alusión directa al libro de Max Scheler. Un camino diverso en el aprendizaje de la ciencia; único y múltiple por donde transita el hombre y la mujer en sus quehaceres científicos. La historia de la filosofía de las ciencias es rica en sus matices diversos y por los concursos de opciones en interpretar desde la epistemología la naturaleza del conocimiento humano y sus permanentes luchas y enfoques.

Comprender el mundo y su complejidad orilla al observador (a) de la naturaleza a percibir ideas y descubrir el sentido profundo y significado a desentrañar en la tarea primigenia de explicar las cosas materiales que lo impactan sensorialmente o los planteamientos a problemas que abstractivamente se formula y diseña por medio de modelos teóricos y metodológicos en el conocimiento científico.

La comprensión es un esfuerzo de un proceso de creación mental. La filosofía de la ciencia se hace comprensiva a través de la lectura de la naturaleza y la articulación de un lenguaje racional que comunica saberes para socializarlos en términos de cultura por ser ésta en gran parte un vínculo primordial de la ciencia misma. Interpretar la realidad y argumentar una reflexión en la construcción de textos pone a los científicos de la educación científica (didactólogos/as) en un nivel prometedor de la didáctica de la ciencia.

Una historia para contarse

Toda reflexión surge de una actividad práctica. Es el pensamiento en el oficio razonable al estudiar un campo específico de la historia y filosofía de las ciencias, con otras disciplinas y la enseñanza de las ciencias para denotar procesos interactivos, y lograr conclusiones abiertas permanentemente, a un amplio espectro de contenido, sentido y significaciones donde cada logro no es definitivo, sino un nuevo reto en el espiral del conocimiento.

Las praxis de un cuerpo de reconocida trayectoria internacional, provenientes de diferentes solares del continente latinoamericano, de Cataluña y Galicia, con esmero, metodología de la investigación, compromiso social y rigor discursivo, ponen en escena, a manera de diálogo de saberes el valor de la historia y la filosofía de la ciencia en una perspectiva de ciudadanía y valores, bases de cualquier Reforma Educativa en nuestras geografías oprimidas por legados desafectos de comprensión y afectividad por el conocimiento. Se emprende así, desde esta perspectiva, una historia y filosofía de la ciencia que asombra, re encanta y vincula la ciencia con la naturaleza, la sociedad y el pensamiento como matrices en la posibilidad de nuevos conocimientos donde hombres y mujeres de ciencia *que aprenden sobre y acerca de la ciencia* son personas que sienten, se emocionan, sueñan en mejores días, expresan sus credos e ideologías y razonan en el mundo en que viven, interactúan en consonancia al mundo heredado, al que le toca transformar, y ante todo, el impacto de modernas tecnologías que estremece su existencia e idiosincrasia.

Es el mundo del verso (el universo de la palabra) y el multiverso (múltiples universos existentes, incluyendo lo de la creación estética), donde la filosofía da razones de conectores y nuevas lógicas en que se mueve la ciencia y su ámbito interactivo donde todo es posible y nada (potencialización del todo), es definitivo. La acción de educar científicamente desde la luz de diversos saberes es la manera elemental de comprender la naturaleza de la ciencia y su enseñanza.

Para educar hay que estar/ser educado/a. Supuesto que desnuda desde la diversidad en la unidad de las ciencias que el universo que se investiga tiene tantos caminos e interrogantes a estudiar. Y, éste cuerpo de académicos/as se preocupan y se ocupan de enseñar una ciencia que dialoga con la filosofía, la historia, la cultura, los valores y el lenguaje.

En el aula practican experimentos, se discuten ideas, se acopian teorías, y se aprende intelectualmente una variada gama de discursos en que se evidencia el espíritu humano en su real condición de persona, que sueña por un mejor porvenir social, más justo y humano. En el escenario de la vida hombres y mujeres socializan su ciudadanía en que motivan a otros/as por el cuidado de la naturaleza, el respeto por el medio ambiente, actúan con respeto y responsabilidad en el manejo de las basuras, cuidan con celo los cuerpos de aguas: humedales, lagos, ciénagas, pantanos, ríos, cañadas y mares.

La memoria (dónde y cuándo) remite al pasado; sin embargo, la historia no es pasado sino la construcción de un discurso mediado por la plena subjetividad colectiva, de ahí hablar de historia de la ciencia objetiva o de filosofía de la ciencia eminentemente factual, nos parece hoy absurdo e inconexo con la propia historia humana. El historiador no es lo que haya, sino lo que construye discursivamente¹. La historia es la vida misma en su movilidad y cambio (Lorduy, Muñoz y Múnera, 2013).

De los capítulos del libro

El **Capítulo 1. Una nueva reflexión sobre la historia & filosofía de las ciencias y la enseñanza de las ciencias.** **Mercè Izquierdo, Mario Quintanilla, Jordi Vallverdú y Cristián Merino** plantean la importancia que los profesores conozcan sobre y acerca de la filosofía e historia de las ciencias. Propuesta al interpelar a quién educa y cómo llegar a construir y configurar ciudadanía desde estas disciplinas. Se problematiza la relación de la historia y la filosofía con el ámbito de la ciencia al plantearse su relación con el discurso historiográfico y epistemológico que trascienda el método científico y exponga el valor de la vida desde la dinámica social del conocimiento humano en términos de cultura.

Profundizan sus autores de que la historia y la filosofía de la ciencia es una constante pregunta que interroga por un problema que ha de dilucidarse y que exige razones explicativas de los hechos, datos, vestigios e ideas y experiencias humanas; sin embargo, no es un preguntar cualquiera, sino un saber preguntar. Hombres y mujeres de ciencia a través de su producción científica se hallan inmersos en la historia y sus procesos productivos de acuerdo con las demandas sociales de la época.

Cabe destacar en este capítulo introductorio, el tiempo del historiador, su época, su presente, sin intentar reconstruir el pasado abstrayéndose de su contexto real para mirarse en el espejo epocal en que le tocó vivir. La intención de reconstruir el pasado con reflexiones serenas, juiciosas y razonables de la información y datos que se manejan y cotejan en la elaboración del discurso histórico. Se previene a los docentes en no caer en la historia anacrónica que lleva a falsedades, como lo propone Kragh, que facilita toda clase de elucubraciones retóricas. La historia de las ciencias ayuda a esclarecer el origen del conocimiento científico, la evolución del mismo, cuáles

¹ Lefebvre, G. (1927). *La grande peur*, 1789.

fueron las condiciones sociales, económicas, políticas y la evolución de las ideas e imaginarios colectivos e individuales de una época en el desarrollo científico.

Con la narrativa histórica se busca la comprensión de la naturaleza de la ciencia y es el empeño formidable de conjunto de Mercé Izquierdo, Mario Quintanilla, Jordi Vallverdú y Cristián Merino por esclarecer desde un saber inter y transdisciplinario el papel de la filosofía y la historia de las ciencias y la enseñanza de las ciencias, enfatizando el valor de la verdad como fundamento de la historia, ellos, propenden por una íntima relación – orgánica - entre ciencia y cultura. La mirada crítica es permanente, preventiva como lo indica y lo sugiere la construcción de un discurso de ciudadanía para no caer en errores y prohibiciones tipo de una sociedad patológica, gravemente enferma, de ahí, las motivaciones por los valores ciudadanos.

La permanente actividad de enseñar que la ciencia la hacen personas normales a las demás, es encarar su dimensión humana. Narrar historias interesantes motiva a los estudiantes a enamorarse de los contenidos de las ciencias, compromiso sustantivo del profesor. La ciencia es generadora de debates y discusiones académicas que ventilan por los errores y aprender de ellos, en la superación del conocimiento en su grado ascensorial y sin caer en triunfalismos.

La filosofía y la historia son las conciencias críticas de las ciencias. La filosofía es conciencia crítica de la historia y conciencia crítica de sí misma, puesta al servicio de una educación social en valores. Conciencia como enfoque, es decir, luz que permite mirar la complejidad del conocimiento humano. La filosofía como orientadora del conocimiento humano en la que se halla implicada la historia y la ciencia misma como un todo integral.

El Capítulo 2. *Algunas orientaciones para la formación docente en historia de las ciencias.* **Mari Álvarez Lires**, cuestiona al profesorado por mantenerse en conceptos obsoletos de la ciencia, en anacronismos y se amojonan en esquemas de una metodología inductiva o deductiva (método científico) a manera de cadáver insepulto donde impera el dogma y el axioma. Apunta la autora a que uno de los objetivos de la ciencia es enseñar a pensar. Si, enseñar a pensar también compromete a la filosofía desde un preguntar y un saber preguntar en plena correspondencia con un saber pensar, conexión orgánica entre la historia de las ciencias y la cultura fomentando el espíritu crítico del alumnado.

La historia de las ciencias y las técnicas hacen parte de la cultura humana, la enseñanza de estas disciplinas abre un amplio campo al desarrollo del conocimiento y posibilita hablar de la filosofía de la ciencia. La relación de la historia, las ciencias y la sociedad, sus ideas e imaginarios colectivos. La ciencia y la técnica como construcción de un discurso histórico sobre la ciencia. La influencia social, económica, política y cultural de abordar los problemas éticos que propicia las ciencias y las técnicas al cambiar hábitos y costumbres sociales.

Señala su autora, que ese saber hacer las cosas (técnica) ha marcado a lo largo y ancho de la historia el camino de la ciencia, otras veces, es lo contrario y las veces en que presentan independencias relativa entre ambos campos, como a bien lo plantea Mari Álvarez Lires. Las relaciones entre ciencia, técnicas e historia en su conjunto configuran una cultura inspiradas en las transformaciones de la realidad y aportan

nuevos enfoques epistemológicos. La influencia social en la relación técnica y ciencia colorea valores y principios que en estadios anteriores no fueron manifiestos y porque hoy son probadas la aparición de nuevos valores culturales.

El texto de Álvarez Lires pone sobre el tapete la estimación del alumnado sobre las imágenes que ellos tienen sobre la ciencia y la técnica y del encajamiento en la producción social. Su investigación no se orilla en su saber científico de la química, ella se interpela por el docente y sus educandos. Piensa de manera integral y articula el discurso de la historia de la ciencia, técnica y cultura desde una mirada social crítica que pregunta por la educación en principios y valores. Resalta el valor social de la ciencia en cuanto a lo colectivo y personal para reflexionar desde la ética y la cultura para ser pensado como seres humanos que sienten, se emocionan, actúan en la sociedad y en la comunidad científica donde participan.

Álvarez Lires aporta en su investigación un análisis a la presencia de la mujer y de sus aportaciones en la historia de la ciencia y de su capacidad de erudición. Las ubica en prácticas de la vida cotidiana y su ascendencia social desde las actividades de saberes en el cuidado de enfermos, elaboración de los alimentos, el lavado y blanqueo de la ropa, tintes y otros quehaceres que definieron a la mujer virtuosa. A manera de síntesis, saca a la mujer de una tradición en la vocación de servir para darle su justo valor en el plano de la ciencia.

El **Capítulo 3. Las 'historias de la ciencia' y sus adaptaciones a la enseñanza: un debate abierto.** Agustí Nieto – Galván, manifiesta que la historia es información, búsqueda, cotejación de acopio documental, hallazgos, análisis, descripción y construcción de un discurso que permite desentrañar el pasado para una mejor comprensión del futuro en prever errores. Sin embargo, a simple lectura Nieto – Galván, presenta una nota introductoria citando al químico Lavoisier. Y es precisamente, esta referencia la que le otorga un carácter de paradoja a la historia por el relato que se aporta a través de su libro *Tratado elemental de química*. Es bien sabido que la paradoja es un absurdo aparente que da paso al relato del afamado químico. Su primera edición fue publicada en París, en 1789. Considerado el primer texto de química moderna, Lavoisier redacta sus descubrimientos más importantes, con la intención de dárselos a conocer a científicos de su época. Esta fecha clave del texto (1789), nos invita a la emergencia de la Revolución Francesa, lo que implica un cambio fundamental (rompe una manera de permanecer en espacio y tiempo), lo económico, lo filosófico, lo social, lo político, lo científico y cultural.

Desde esa referencia se habla entonces de 'química moderna'. Cabe preguntarse, en qué consiste esa modernidad (implica un concepto filosófico) en tanto para la Revolución Francesa como para la aportación científica de Lavoisier. Se da el contrapunto entre pasado y modernidad a partir de la química de Lavoisier al tomar distancia con la tradición, - con el Antiguo Régimen de la química - señala Nieto – Galván, con las reminiscencias alquímicas en los talleres de artesanos, abierta oposición, para privilegiar desde el presente una nueva forma de hacer ciencia - con la creación de un corpus teórico y experimental, nuevo e inédito: una nueva nomenclatura abstracta, una nueva teoría de la combustión, basada en los nuevos aires descubiertos, un nuevo estilo experimental. En expresiones de Nieto – Galván, el éxito de su nueva química se fundaba en el olvido del pasado.

Lo nuevo es lo que aparece, en este caso, la autora menciona el Tratado elemental de química de Lavoisier que aporta a la química una serie de contribuciones científicas que son la mera configuración de la química moderna. Toda una revolución química nombra el propio Lavoisier a su tratado. Proclama el desconocimiento de la historia y lo expresa en algunos de sus escritos. “La mejor manera de enseñar química a las jóvenes generaciones era obviar cualquiera referencia histórica”. Eliminar la historia para una nueva enseñanza de la química. Las aportaciones de Lavoisier a la ciencia y en particular a la química es una historia para ser contada. No caer en la historia superficial que el docente muchas veces estimula a su alumnado y caen en la simple anécdota que en nada contribuye a una formación de la historia de la ciencia.

En el **Capítulo 4. Sobre la historia de las ciencias en América Latina... ¡y su enseñanza!**, **José Antonio Chamizo**, nos muestra con claridad las tensiones y controversias en la historia de las ciencias, luchas permanentes, errores convertidos en verdades y de pruebas que dejaron de serlo, esperanzas y frustraciones. Así de esa manera hace un relato para contarnos el tránsito del conocimiento científico. Expone un lenguaje que evidencia la profundidad del tema. Pone en escena a actores de osamenta y carnadura como sujetos históricos que hacen ciencia en América Latina y su enseñanza. Una mirada crítica de ver la historia de la ciencia en nuestro continente. Una larga lucha que confronta a las formas de poder de la autoridad civil y religiosa, en esas tensiones permanentes se desarrolló la historia de las ciencias. Las ciencias y las tecnologías hoy son parte de la estructura social y de la cultura, señala Chamizo.

El conocimiento del mundo descansa sobre el soporte del desarrollo de las ciencias y las tecnologías. Con el conocimiento y la cultura las personas acceden con sus capacidades a intervenir en él. Con los adelantos de las ciencias y las tecnologías en los últimos cien años dan un vuelco a las costumbres sociales y a la moral que se consideran obsoletas. En ese ir y venir del pasado al presente se mece una buena parte de la cultura latinoamericana. En Chamizo hay un concepto de historia social y cultural para mirar el mundo y su advenimiento científico en Nuestra América para enunciarlo en la voz de Martí. América es el nuevo mundo, da origen a una cartografía que no existía, la imagen del mundo cambia y pone a pensar de manera razonable a las personas que hacen ciencia. El nuevo mundo pare también un naciente imaginario donde la realidad es trastocada por la fabulación y las narrativas de flora y fauna abre un camino enriquecedor a las ciencias y las ficciones literarias.

En Chamizo hay un juego de imagen entre el epígrafe y el texto martiano, un contrapunto entre una mirada del siglo XIX encarnada por Martí (América) y la sentencia epigráfica del siglo XX en el mirar de un hombre de Europa. Sin embargo, es el siglo XXI donde Chamizo ubica su texto para decirnos del hombre y la mujer nuevo (a) de América Latina, parecen estar destinados más lo que indica de Gaulle que a lo que defiende Martí.

El epígrafe de Gaulle remite hoy al mundo globalizado, la homogenización del mercado y del pensamiento. El texto de Martí nos lleva a ver a unos hombres originales en suelo americano (una especificidad en su singularidad). Este juego de imagen es un pretexto para tejer un texto y un contexto histórico para seguir hablando de ir y venir y poder situar el pasado al presente para volver a América Latina.

La herejía es conflicto y ruptura con un poder hegemónico y elección oponible a la ortodoxia (la opinión que se considera correcta, verdadera, por tanto, es irremplazable). Chamizo utiliza el término herejía como elección, opción. Apunta Chamizo que no hay herejía si no hay ortodoxia. Lo herético es la lucha donde ha estado inmersos las personas de las ciencias, conflicto y confrontaciones en la historias de las ciencias. El relato histórico y cultural lo lleva de manera explícita a una comprensión y análisis de las ciencias naturales y con ella, a la química.

El **Capítulo 5. Prácticas experimentales e instrumentos científicos en la construcción del conocimiento científico escolar.** **Álvaro García Martínez**, nos presenta el tema del conocimiento científico como construcción en la práctica experimental, valiéndose para ello de ilustrativas definiciones de los “instrumentos científicos” y su aporte al desarrollo del conocimiento. Este y otros aspectos más son el tema central del trabajo de investigación de García Martínez. Al introducirnos en el tema, el autor nos presenta algunas reflexiones sobre la práctica experimental y su relación con los instrumentos científicos, que seguidamente y de manera didáctica nos conducen a la enseñanza de las ciencias. En ese sentido el papel de la práctica experimental y su relación en la construcción del conocimiento científico es fundamental para la enseñanza, en este caso del conocimiento científico escolar.

Para el autor es primordial las perspectivas y el papel socio cultural de la actividad científica refiriéndose de la siguiente manera: “Desde esta última postura, se resalta el papel de la práctica experimental y de los instrumentos científicos (o artefactos tecnológicos) en toda esta actividad de producción de conocimientos; esta nueva perspectiva se ha comenzado a estudiar desde la filosofía de la ciencia, al hablar de tecnografía, y de desde la historia de las ciencias (...) en el proceso de construcción de conocimiento en un momento específico del desarrollo de la humanidad”.

El autor plantea “la práctica experimental en la construcción del conocimiento científico” y la posición de algunos autores que refieren las concepciones lingüísticas y metodológicas predominantes en la filosofía de la ciencia, especialmente en la primera mitad del siglo XX. En ese orden se sigue el siguiente ítem o aparte titulado: *La práctica experimental desde un enfoque cultural de la ciencia*, donde se referencia las posiciones que defienden la relevancia de los contextos sociales en la actividad y en la producción de los científicos, igualmente se plantean y analizan posiciones críticas como parte inicial de la discusión. En ese sentido, de acuerdo con autores como Pickering e Izquierdo, “(...) no puede estudiarse la ciencia sin tener en cuenta el papel tan importante que juegan los instrumentos y a la vez la mediación del lenguaje”.

Para el autor del capítulo cinco, se plantea una revaloración de los llamados artefactos tecnológicos para la comprensión de la ciencia en alternancia con las representaciones de la filosofía de la ciencia. De acuerdo con lo anterior se cita el caso de Ian Hacking, “(...) quien reconoce que la ciencia no puede reducirse sólo a las teorías científicas, sino que la práctica experimental es esencialmente un modo de intervención tecnológica”. En tal modo se propone de acuerdo con el autor antes citado, abandonar la moda de no “hablar sobre las cosas” en vez de la forma en que “hablamos sobre las cosas”, tal relación enfatiza luego “hablar de enunciados observacionales” y “hablar de la actividad experimental” (Hacking).

En el **Capítulo 6. ¿Qué sentido tiene la naturaleza de la ciencia y la historia de la ciencia en la formación ciudadana y valórica de un ser planetario?** **Silvio Fernando Daza Rosales, José Rafael Arrieta Vergara y Enrique Muñoz Vélez.** Con este título, los autores y docentes nos entregan una muestra más de la capacidad asociativa de dos temas igualmente importantes como lo son la Ciencia, la Historia de la ciencia y su relación con la formación valórica. Buena parte del texto se ha centrado en la confrontación de conceptos, afirmaciones y puntos de vista abordados desde el hilo conductor de la pregunta central del capítulo. La reflexión sobre cada uno de los apartes aquí presentados, es el tema central del trabajo pedagógico de Daza, Arrieta y Muñoz. Los autores nos acercan a “(...) los modos de elaboración del conocimiento, los cambios de las teorías en el tiempo, y la manera en que ellas se relacionan con la sociedad en sus épocas”. En ese sentido su enseñanza juega un papel fundamental en el manejo de la fuente del conocimiento, de su apropiación crítica y de la generación de nuevos mecanismos que promuevan nuevas aptitudes encaminadas hacia el conocimiento y la ciencia.

Daza, Arrieta y Muñoz, nos relatan de manera pedagógica, como “enseñar las teorías” de las ciencias, proceso de elaboración de conocimiento fundamentalmente relacionado con los contextos fundamentales de cada sociedad y sus épocas. Tal enseñanza requiere escenarios que permitan ofrecer una mejor comprensión de las ciencias, su naturaleza, la tecnología y la historia de las ciencias en sí. En ese sentido los autores señalan la importancia de esos escenarios para comprender el ritmo acelerado de los cambios en cada tiempo, y el vertiginoso avance del conocimiento científico, que junto con las innovaciones tecnológicas, han ocurrido masivamente a lo largo del siglo XX y comienzos del siglo XXI.

En el **Capítulo 7. Las Mujeres en la Historia de la Ciencia.** **Nuria Solsona I Pairó** “Las mujeres son objetos de cabellos largos e ideas cortas²”. Aquella expresión funesta de Schopenhauer es historia superada. Las mujeres en la historia de la ciencia ponen una lápida para sepultar la mirada sesgada de un hombre prejuiciado con respecto a la mujer alimentada desde su condición misógina.

El aporte de las mujeres en la literatura científica es una página memorable en la historia humana. Y lo que puede parecer hoy novedoso no es cierto, existe una amplia tradición de las mujeres en la ciencia desde los albores mismo de ella (proto ciencia de carácter filosófico como la alquimia), se invisibiliza a las mujeres y sus aportes, negaciones y silencios. Las culturas antiguas dejaron testimonios de la participación de las mujeres en la ciencia, así lo ha demostrado la historia y disciplinas como la arqueología lo evidencia en las piedras a través de inscripciones. Existe pues, una valorada documentación de sus aportes en el campo de la salud, matemática y astronomía.

Con este trabajo se rompe el cuello a una tradición de la memoria rota para apalabrarlo con el historiador Gervasio García. Los mujeres son reales y visibles por sus aportes y actividades científicas, además, de hacer pedagogía de la ciencia en el presente y su proyección futura ya de manera visible. Indagar el pasado de las mujeres y su relación con la ciencia hace parte de un estadio oculto, por tanto, las verdades de su acervo con respecto a la ciencia estaba velado, no familiarizado con los sentidos, lo

² Schopenhauer, A. (2000). El Amor, las mujeres y la muerte. Filosofía Alianza Editorial.

que negaba la existencia granítica de actividades de ciencia que por ironía y paradoja había documentada fuente arqueológica de sus aportes. Podría citarse al poeta Borges para ponderar la historia de la infamia a partir de desconocer las contribuciones científicas de las mujeres.

Las miradas androcéntricas de la ciencia, señala Solsona, no dejaban ver la estatura de la mujer en la ciencia, de cierta manera, primaba la imagen costillar de la mujer, su vínculo adánico de acuerdo con el metarelato bíblico. Era una forma errada de concepción sobre la mujer, derivado del ser inferior o sombra del hombre, o una manera de decir que es el hombre el pensante y ella la señora de la torpeza. La mujer para decirlo desde un plural ficticio han pensado y el pensar no es exclusivo ni privativo del hombre.

El Capítulo 8. *La historia de la ciencia en la literatura como insumo para la construcción de “historias de la ciencia.* **Agustín Aduríz-Bravo, Franklin Manrique y Mario Quintanilla**, los autores nos muestran la utilización de la palabra como hilo de la imaginación creativa. Texto es tejido y de eso trata la literatura como visión estética de mundo sea ficcional o no. Aquí la literatura se utiliza como insumo, materia prima³ en la construcción de historias de ciencia. Con el término insumo se remite a la vida humana, está vinculada con su historia y con la misma ciencia porque comporta naturaleza y al mismo tiempo, creación en sentido y significación de ciencia. La epistemología o filosofía de la ciencia aporta a los profesores unas líneas argumentales en educar científicamente y para eso, el valor de los insumos de la literatura para la construcción de historias de ciencia.

Los autores exponen un capítulo de elaboración creativa conjunta ciencia y arte, aunados a una serie de recursos didácticos explicativos en que se implica en la trama: imaginación, observancia y construcción discursiva. De cierta manera vinculan el mundo de la literatura con la ciencia, es decir, resultado de la naturaleza mediado por la forma literaria en el relato (el escritor asume de observador de la naturaleza que narra o describe y de las aportaciones científicas en las historias de las ciencias). Los insumos de la literatura en la construcción de las historias de la ciencia es parte sustantiva de la metaciencias. Toda una construcción humana en articular diversos saberes de la ciencia.

El Capítulo 9. *Un análisis de la estructura de dos experimentos asociados a la combustión: algunas implicaciones para la formación inicial docente.* **Henry Giovany Cabrera Castillo y Mario Quintanilla Gatica**, plantean la problemática entre la conceptualización y la experimentación de las ciencias naturales, específicamente de la química, tal fragmentación es fomentada por la separación tradicional de las clases de químicas y sus experimentos en laboratorio. En tal sentido la filosofía de la ciencia, la historia y la enseñanza, se han encargado de hacer énfasis en su teorización. La reflexión sobre cada uno de los apartes aquí presentados, es el tema central del trabajo de los autores. Inician el tema refiriéndose a la enseñanza de las ciencias con la búsqueda de los aportes provenientes de la filosofía y la historia de las ciencias, dando por resultado la aparición de experimentación de contenido, instrumentos, textos y materiales para la enseñanza y la formación de docentes en las asignaturas programadas en las temáticas curriculares. En lo que tiene que ver con formación de docentes en ciencias naturales, la identificación de investigaciones

³Insumo como concepto económico, factor de producción.

sobre usos y desarrollo de la temática para formación inicial de las ciencias naturales y el ejercicio de la misma, teniendo en cuenta que: “(...) el panorama académico universitario de las clases de ciencias que se les ofrece a los docentes en formación inicial, está marcado continuamente por la separación entre la conceptualización y la experimentación, es decir, que no se promueve la articulación entre ellas normal que la de existir”.

En ese sentido los autores afirman que, la problemática de la fragmentación, sobre todo a nivel universitario, entre la formación de conceptos y la experimentación dentro de la práctica de la química en el aula y los laboratorios, no facilitan razonablemente la adquisición del conocimiento químico para la formación inicial del docente en el área de las ciencias naturales.

Para el planteamiento del tema, los autores abordan estratégicamente el análisis del caso de la combustión, considerado fundamental en el proceso de enseñanza, aprendizaje y evaluación de la química, retomando específicamente el análisis histórico de dos experimentos realizados por Lavoisier en el siglo XVIII.

El Capítulo 10. *Una visión naturalizada de la historia de la química: el caso del modelo atómico de John Dalton.* **Mario Quintanilla Gatica, Luigi Cuellar y Henry Giovany Cabrera Castillo**, relacionan y analizan el desarrollo del modelo atómico John Dalton. La reflexión sobre cada uno de los apartes aquí presentados, es el tema central del trabajo pedagógico de los autores. Relacionan sus conceptos y puntos de vista acerca de lo que consideran “la visión naturalizada de la historia de la Química”. De igual forma, discuten algunos aspectos históricos acerca del origen y desarrollo del modelo atómico de Dalton, intentando plantear algunas directrices para la pedagogía desde la visión naturalizada de la historia de la química y los desafíos culturales del docente y maestro de hoy. Su visión revela una concepción naturalista de la ciencia, agregando que (...) el enfoque naturalizado de la historia de la ciencia en la enseñanza ha de poner su atención en la experiencia, cultura, lenguaje y pensamiento de los estudiantes como un proceso de desarrollo que no comienza ni termina en la escuela cuando se enfrentan a comprender como asumir la lógica y evolución histórica de la ciencia (Quintanilla”).

Para el caso que nos referencia lo autores, sobre el modelo atómico de Dalton, se trata de comprender su historia y la manera en que se dio el argumento de su desarrollo teórico, condicionada por factores y razones por las cuales dicha teoría fue propuesta en la época y circunstancias que le correspondió vivir a Dalton. En ese sentido, los autores han logrado en este capítulo VIII, configurar los elementos para la confrontación de conceptos y afirmaciones sobre el tema en cuestión, y que es el tema abordado en este breve resumen y comentario, que pone de relieve los apartes por ellos abordados in extenso en el capítulo.

El Capítulo 11. *Aspectos histórico-filosóficos del concepto de “elemento”.* *Aportes para la formación inicial y continua de profesores de ciencias* **Martín Labarca, Alfio Zambon y Mario Quintanilla**, relevan la noción de elemento como eje central y su vinculación con la noción de sustancia. El capítulo expone las controversias filosóficas de la química en este ámbito de análisis. Filosofía de la ciencia y su incidencia en la educación química. Indagar sobre la filosofía y la historia de la química, mostrar la diversidad de ideas que contribuyeron con surgimiento y

desarrollo del concepto de “elemento”. Las implicaciones de dicho concepto sitúa el discurso en la enseñanza de la química y las contribuciones teóricas inacabadas al debate histórico, didáctico y filosófico en la participación social de la educación. Dilucidar el concepto de “elemento” en química es también analizar su aspecto polisémico como término. Recurrir a la ciencia social y en particular a culturas antiguas, señalan sus autores, nos aproxima desde el más remoto pasado a la tradición filosófica de la India y China y hacer un giro histórico y geográfico hacia Occidente para descubrir en la filosofía griega sobre el término “elemento”. Mientras para la India su sistema filosófico se refiere a cuatro elementos: tierra, agua, fuego y aire y un quinto elemento el éter como aparece en la tradición de las artes herméticas hacen de la enseñanza de la noción de elemento, un desafío intelectual valioso, complejo y necesario para la educación química.

Los autores hacen un esfuerzo razonable y discreto de un “recorrido histórico y filosófico” del atomismo griego, especulativo, cualitativo que sirvió de base para la conformación del atomismo (cuantitativo, testeable), sobre la cual se modeló la ontología de la filosofía occidental moderna (Reale y Antiseri, 1998). Con Boyle, los autores del texto presentan un trabajo ya centrado en la historia de la química moderna, que a su vez, muestra una crítica contundente a los cuatro elementos de Aristóteles y a la teoría de la tría prima de Paracelso, fundamentada en el libro *El químico escéptico*, publicado en 1661.

Capítulo 12. *Historia de la microscopía. Aportes para la solución de problemas científicos en la clase de química.* **Rodrigo Páez, Guillermo Calderón y Carol Joglar** nos presentan una propuesta original para comprender el desarrollo histórico de la microscopía y las técnicas utilizadas en la observación de muestras en biología. Es una manera de estimular y despertar el interés del estudiantado por el estudio de la biología, la biología celular y la microbiología que incluyen el manejo del instrumento científico (microscopio), así como la naturaleza y finalidades de la observación científica. ¿Cuál es la naturaleza de los hechos observables o no observables? y ¿Cómo interpretarlos?.

Los avances sistemáticos que proporcionó el microscopio en el desarrollo de la biología, estimularon discusiones filosóficas de alta factura entre, empiristas y positivistas. La observación era la piedra angular en la construcción del conocimiento y experiencia, tienen en común una visión de la ciencia la que afirma que el conocimiento científico se deriva de los hechos obtenidos en la observación. Cabe entonces, preguntarse si la ciencia resulta de los hechos. Resaltar en los alumnos las diferencias entre ver y mirar como lo señalan sus autores ha de ser una de las finalidades esenciales de la ciencia.

La propuesta de utilizar la historia del microscopio en la enseñanza de la biología, consiste en estimar las condiciones que caracterizaron a aquel microscopio incipiente y rudimentario, hasta sofisticados microscopios electrónicos que evidencian los avances y logros tecnológicos al servicio de la ciencia. La relación entre ciencia y tecnología plantea un interrogante epistémico que los alumnos deben conocer y formularse preguntas sobre sus objetos y métodos. Es un capítulo motivador orientado a profesores/as y estudiantes que desde la investigación de la naturaleza de la ciencia se planteen problemas sobre la biología evolutiva abordando su perspectiva epistemológica, histórica y social.

El Capítulo 13. Darwin teleólogo” y “el eclipse del darwinismo”: *dos casos para repensar la historia del evolucionismo*, de **Leonardo González Galli**. Comienza con el abordaje de ¿Qué es la ciencia? Pregunta clave para reflexionar, pensar la enseñanza de las ciencias. La ciencia como construcción humana del conocimiento requiere de teorías para interpretar el mundo. El autor expone el relato estándar sobre el origen de la teoría de la evolución y las visiones deformadas de la ciencia. La narración estándar caracteriza una imagen idealizada y descontextualiza del personaje y de sus logros en la ciencia, es acrítica. En las narraciones estándares predomina una visión anacrónica que deforma la historia de la ciencia. Relato anacrónico de la historia de las ciencias en que Darwin marca una época por sus aportaciones y la investigación científica adquiere un rango de profesionalización. Gonzalez, analiza el supuesto teleológico de Darwin en las clases de biología cuya pretensión es que los profesores/as trabajen con los estudiantes sobre los escritos y el pensamiento de Darwin. Ello, puede ser útil desde el punto de vista didáctico como lo expone Galli. La teleología es un modo de explicación basado en causas finales. Con respecto a Darwin el concepto teleológico lo aplica a la naturaleza a la teoría de la evolución en el sentido de su determinación de los fines.

Capítulo 14. La membrana plasmática. El desarrollo histórico del modelo y su uso en el aula. **Carol Joglar Campos, Ma. Verónica Astroza I., Ricardo de la Fuente O., Paula Cekalovic y Ana María Rocca.** Inician con una referencia a las metaciencias tales como Historia de la Ciencia y la Filosofía de la Ciencia en la formación y desarrollo del profesorado de ciencia en general y específicamente en los profesores de biología en particular, es la forma de los autores de La membrana plasmática. La metaciencias tales como: el campo investigativo compuesto por la filosofía, la historia de la ciencia, la sociología y la cultura en ese orden de idea se estudia la biología como un componente histórico – epistemológico para situar el tema: El modelo de membrana plasmática.

En el **Capítulo 15. Nicolás Copérnico desde una propuesta realista pragmática de la historia ciencia.** **Mario Quintanilla, Gerardo Saffer, Mercè Izquierdo y Agustín Adúriz-Bravo** invitan a una literatura científica recuperada desde el análisis y la argumentación epistemológica, la historia y la didáctica que otorgan un valor enorme a los aportes de Nicolás Copérnico a la ciencia y a la formación de profesores de Ciencias Naturales. Aquí una vez más, se conjuga el pasado y el presente en las aportaciones astronómicas de Copérnico a partir de la teoría Heliocéntrica. El escenario europeo de los siglos XV y XVI agudiza los conflictos entre religión y ciencia. Copérnico fluctúa entre el pensamiento filosófico naturalista y cristiano, tensión manifiesta en las pugnas constante del protestantismo y el catolicismo, en esa atmósfera le toca vivir y desarrollar su conocimiento científico con base en las dificultades de la época.

Los autores y las autoras proponen una revisión teórica y metodológica de los aportes de Copérnico y la contribución que ella puede hacer a la formación del profesorado de ciencias naturales para facilitar una reflexión en torno a su pensamiento y no reducirlos a hipótesis interpretativas. A manera de estrategias para enseñar las ideas de Copérnico desde una visión realista pragmática como enfoque filosófico de carácter epistémico que argumenta un conocimiento científico desde un análisis histórico. Los autores en su conjunto, argumentan desde la ciencia, la historia y la filosofía una visión de mundo científico donde pasado y presente dialogan permanentemente en virtud a cambios y transformaciones.

El desafío de los profesores, señalan sus autores, consiste en no caer en el vacío retórico de la historia de Nicolás Copérnico en su anacronismo, y posibilitar una interacción entre la historia, la filosofía y la ciencia apoyada en una visión realista y razonada en educar en valores y cultura ciudadana.

El **Capítulo 16. Naturaleza de la Ciencia en la enseñanza de la física. Algunas consideraciones relevantes y ejemplos en el aula. Yadrán Gómez-Martínez; Anna María Pessoa de Carvalho y Lúcia Helena Sasseron.** Un mundo cada vez más cambiante y acelerado con los avances de las ciencias y las tecnologías -han evolucionado en el tiempo en múltiples aspectos y planos, sin embargos, resistencias (naturales del ser humano) a las transformaciones -, caracteriza la paradoja del desarrollo y la manera de pensar la realidad. Con la ciencia y la enseñanza la humanidad emprende la tarea de romper esquemas que de por sí no son fáciles, crean resistencias a cambios y transformaciones, no obstante, éstos terminan imponiéndose, y culturalmente se aceptan por el peso de sus evidencias.

Sus autores enfatizan que la ciencia física no es ajena a estas tensiones y crisis recurrente en la historia de la humanidad, sino un signo esclarecedor en la epistemología. ¿Cómo se puede transmitir el sentido humano y social de las ciencias y la física a través de la enseñanza? ¿Qué física enseñar para educar en valores, ciudadanía y democracia? ¿Qué y cómo planificar una física educativa que permita a los estudiantes a tomar decisiones a lo largo de su vida? ¿Cómo se podría promover un pensamiento sistémico desde y durante los procesos formales de educación? ¿Cómo podría contribuir la enseñanza de la física en la formación de sujetos que favorezcan la sostenibilidad y sustentabilidad del planeta?

Sus autores insisten en las ideas, acerca de que las personas que producen actividad científica (y con ello nuevo conocimiento) viven en un mundo común y naturalizado, es decir, no son ajenos a lo humano, sienten, se emocionan, tienen afectos y creencias, y hay preocupaciones que no se agotan en lo académico, se enamoran y forman familias, se distraen, hacen deportes y participan de las diversiones del diario vivir, no viven en un mundo diferente a los demás.

A modo de conclusión:

Este libro nos acerca a una reflexión valiosa y necesaria, actual y polémica acerca de una nueva visión de formar y desarrollar educadores en ciencias. Pretende a través de la introducción de la historia y la filosofía de las ciencias en la formación inicial y permanente de los profesores, brindarles directrices teóricas y orientaciones metodológicas desafiantes para entender, cuestionar, contextualizar, poner en práctica, y evaluar un currículo, tomar decisiones en función de las realidades en las cuales va a desarrollar su enseñanza y a promover el aprendizaje de las ciencias naturales.

En un momento en el que asegurar aprendizajes científicos de calidad a todos los estudiantes ya no es sólo un compromiso educativo, sino que es además un imperativo político, ético y social, este libro es un aporte discreto y de calidad. Los autores a través de sus enfoques y sus miradas al problema logran provocar a partir de la lectura, el cuestionamiento y la movilización necesaria para que nos

comprometamos con este camino de búsqueda para ofrecer a todos nuestros niños, niñas, adolescentes, jóvenes y adultos, más y mejores oportunidades de aprender y seguir aprendiendo a lo largo de toda la vida.

Esperamos que a cada uno de Uds., lectores, la lectura los convoque como a nos ha convocado a nosotros al sistematizarlo, simbolizarlo y compilarlo. Un libro de investigadores de vasta trayectoria, de noveles doctores y de profesores de aula de Argentina, Brasil, Colombia, Chile, España y México. Todos ellos/as comprometidos/as con un futuro educativo de calidad con equidad en nuestra América Latina.

Enrique Muñoz
Silvio Daza
Mario Quintanilla

Barrancabermeja, Colombia, Octubre de 2014

Primera parte

***Fundamentos teóricos para la formación
del profesorado y el aprendizaje de las
ciencias***

Capítulo 1

Una nueva reflexión sobre la historia & filosofía de las ciencias y la enseñanza de las ciencias

Mercè Izquierdo.

Departament de Didáctica de les Ciències, UAB, España

Mario Quintanilla.

Departamento de Didáctica, Pontificia Universidad Católica de Chile

Jordi Vallverdú.

Departament de Filosofia, UAB, España

Cristián Merino.

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

Índice

Resumen

1. Hacer una 'buena historia' en la clase de ciencias:
2. Aportaciones de la historiografía de las ciencias
3. La clase de ciencias como 'actividad científica escolar': Aportaciones de la filosofía
4. La historia y filosofía de la ciencia en la formación del profesorado
5. Conclusión

Lista de referencias bibliográficas

Anexos

Resumen

Hace diez años se propuso una primera parte de esta reflexión sobre la relación entre la historia y la filosofía de las ciencias que reanudamos en este artículo⁴ (Izquierdo, 1996). Durante este tiempo se han producido nuevos aportes teóricos y prácticos que permiten concretar un poco mejor las propuestas que se hicieron en aquel momento referentes tanto a los recursos que la Historia y la Filosofía de las Ciencias (H y F de las C) proporcionan a la clase de ciencias como a la aportación que pueden hacer a una 'teoría de la clase de ciencias' que, de consolidarse, daría una base firme a la formación del profesorado de ciencias.

⁴ Una versión resumida de este artículo se publicó en la Revista Alambique (2006)

1. Introducción

Ha pasado algún tiempo (365 días, 10 años o 0,1 siglo, como nos parezca mejor) y se han producido algunos cambios. Creemos poder afirmar que la tendencia a incorporar a la docencia de las ciencias aspectos relacionados con la H y F de las C se ha consolidado en los últimos años. Por ello, las aportaciones que se hicieron continúan siendo válidas para quienes aún no las han probado, pero han evolucionado gracias a los esfuerzos sostenidos de quienes sí lo hicieron. Tenemos pues nuevas cosas que explicar.

La Historia de las Ciencias había tenido una función específica, importante, en la Enseñanza de las Ciencias, puesto que servía de introducción a los que se aproximaban a ellas: mostraba de dónde procedía el saber científico, cómo se desarrollaba, su importancia en el marco general de los conocimientos, los retos intelectuales y prácticos a los que se enfrentaba. De ella procedían los 'héroes' de la disciplina y las manera de hacer, de decir y de pensar que se presentaban en clase (Nye, 1993). Las ciencias, su enseñanza y su historia habían avanzado en conjunto al unísono.

Ahora la trama entre F y H de las C y Didáctica de las Ciencias (DC) se ha estrechado tanto que ya forma parte de la fundamentación teórica de las secuencias de enseñanza y aprendizaje que se sitúan en el marco del 'constructivismo didáctico' (Méhéut, 2004). Hace diez años se hablaba del paso de la metáfora del libro a la metáfora del diálogo y este cambio ha tenido una consecuencia interesante, que es reconocer la importancia de 'enseñar a hablar ciencias', aceptada ahora como una de las principales líneas de innovación y de investigación. La H y F proporcionan recursos importantes para iniciar este diálogo, ofreciendo narraciones, *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 esta actividad.

Otras dos tendencias han contribuido a consolidar un modelo de clase de *actividad científica*, (ACE, ver Izquierdo y otros, 1999) aunque de manera desigual. Una de ellas es la importancia creciente de los currículos CTS, que proporcionan la oportunidad de elaborar nuevos currículos de orientación interdisciplinar; y la otra, la preocupación por hacer llegar la ciencia a todos mediante programas de alfabetización científica, 'Ciencias para todos' o 'Public Understanding of Science'. Todo ello configura una situación de crisis saludable en la enseñanza de las ciencias, puesto que todos y cada uno de estos cambios son importantes y son difícilmente compatibles con la clase de ciencias tradicional, con un peso importante del libro de texto.

Las novedades que seleccionamos en este capítulo tienen que ver con esta crisis saludable y miran hacia el futuro con optimismo. Vale la pena hacer notar que tener en

cuenta que hay un futuro para las ciencias es ya una consecuencia de interesarse por su pasado y es una aportación incuestionable de la HC a la DC; verlo con optimismo es ya una opción que no se deduce ni de la H ni de la F, sino que una condición *sine qua non* del oficio de profesor al que se dedica la DC. He aquí una de las grandes dificultades de relacionar la HC con la DC: que esta relación tiene una finalidad educativa que no forma parte de la propia disciplina histórica y es necesario justificarla y establecer condiciones en las cuales es legítima.

Vamos a mostrar con algún detalle (poco, por el espacio reducido del que disponemos) algunas de las novedades que se han ido produciendo a lo largo de estos años. Vamos a dedicar el segundo apartado a reflexionar sobre la manera correcta de utilizar la HC a la luz de la historiografía actual. El apartado 3 lo utilizamos para explorar las aportaciones de una Filosofía de las Ciencias que vaya más allá de la epistemología, que refuerzan y fundamentan, a nuestro entender, la propuesta de considerar que en la clase de ciencias se lleva a cabo *actividad científica* y para lo cual se ofrece un Modelo de análisis de la Dinámica Científica (Vallverdú, 2002) que aplicamos a un ejemplo en el que discute la relevancia de un determinado nombre para una sustancia. En el apartado 4 vamos a considerar la importancia de la H y F de las ciencias para la formación del profesorado, con un ejemplo sobre una magnitud química, la cantidad de sustancia. Finalmente, en el apartado 5 daremos un rápido vistazo al panorama internacional y haremos una previsión de futuro.

2. Hacer una 'buena historia' en la clase de ciencias: aportaciones de la historiografía de las ciencias

Vamos a argumentar más adelante la importancia de que los profesores conozcan historia y filosofía de las ciencias y la inspiración que pueden recibir de ella. Respecto a los alumnos, vamos a ser mucho más cautelosos. Pero, en primer lugar, queremos dirigir nuestra atención a la propia 'Historia de las Ciencias', para no confundir la historia de la ciencia con la ciencia que se enseña. La pregunta que nos hacemos es ¿cuáles son las limitaciones que el rigor científico impone a un didactólogo/ profesor de ciencias cuando éste se aventura en una disciplina en la cual no se ha formado y que va a utilizar en su beneficio?

En lo que viene a continuación nos guiamos por las aportaciones de Kragh (1990) sobre la historiografía de las ciencias. La primera cuestión a considerar es el significado del término *historia*. Como que en ningún caso es posible la observación directa del pasado ni acceder por completo a lo que fue (tampoco podemos hacerlo por completo con lo que ocurre en nuestra propia época), no existe una historia totalmente objetiva. Kragh llama H1 al conjunto de datos 'en bruto' que se refieren a algo que conocemos imperfectamente y a partir de fuentes diversas que pueden ser combinadas de manera diversa, que han de ser necesariamente interpretados. Y llama H2 a esta interpretación teórica del pasado. Por ejemplo, la identificación de '*períodos históricos*' (la revolución científica, por ejemplo) es obra de los historiadores, no de la historia. Siguiendo con el ejemplo, podemos destacar que hay dos maneras de organizar la historia de la ciencia: verticalmente, considerando diversas fuentes en un

mismo período de tiempo, u horizontalmente, analizando la evolución de un 'problema' a lo largo del tiempo. O bien, debido a que los objetivos y métodos de organizar los datos no surgen del pasado, pueden ponerse al servicio de una ideología que puede ser *externa* (identificar los aspectos institucionales o políticos que se supone determinan el desarrollo científico), *interna* (dirigiendo la mirada exclusivamente a la comunidad científica) o *intrínseca*, combinando ambos aspectos según adquieran importancia en el desarrollo de una disciplina concreta. Es fácil ver que se ha de ser cauteloso al tomar cualquiera de estas opciones.

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

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

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

Admitir que una historia positivista no es posible ni tampoco lo es la historia diacrónica estricta; nos podría llevar a una visión '*presentista*' de la misma, según la cual la historia ha de estar *forzosamente comprometida* con el presente para tener sentido y razón de ser. Al suponer que la historia se justifica sólo si aporta algo al presente se puede caer tanto en *idealismo* como en un *pragmatismo* extremo. Tanto en

un caso como en el otro se supone que la historia en si 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.

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

¿Cuál(es) de estos errores resulta(n) más tentadores, para los profesores?

Es fácil darse cuenta de los peligros pero, a la vez, la seducción de estas posturas, que soluciona el problema de limitarse a una historia anticuarista que no interese a los profesores pero que presenta muchos otros problemas. Muy a menudo se aprende de las equivocaciones o hipótesis erróneas del pasado y, sobre todo, si se explica la historia teniendo como base de referencia el momento actual puede parecer que los conceptos del pasado tienen relación directa o son los mismos (aunque en una etapa menos desarrollada) que los actuales. Podemos olvidar, por ejemplo, que cuando Harvey imaginó la circulación de la sangre sólo le apoyaron los místicos y alquimistas, mientras que el atomista Gassendi se opuso a ella; haciéndolo así, se pierde la ocasión de comprender bien las relaciones entre las ciencias y la cultura.

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

Así, la historia que se utiliza en DC ha de ser la historia que surge del trabajo de los historiadores, procurando huir del anacronismo y de la hagiografía. Si bien es legítimo que los profesores hablen en clase de algunos 'héroes' de las disciplinas, deben hacerlo teniendo en cuenta el conjunto de aportaciones científicas en su época; si han de plantear determinadas preguntas y enfoques adecuados a la docencia, se ha de procurar que haya un trabajo historiográfico serio que permita abordarlas. Aparece así un importante ámbito de colaboración entre disciplinas, que es justamente el que deberíamos desarrollar conjuntamente, sabiendo que el didactólogo/ profesor no va a

ir más allá de lo que permita la historiografía ni el historiador va a ir más allá de lo que le permita la didactología (exigiendo determinados niveles de exactitud histórica en las unidades docentes, por ejemplo, o prohibiendo determinadas preguntas o hipótesis que la historia quizás no puede ni debe responder pero que pueden tener interés docente).

A partir de estas reflexiones se ha construido un instrumento de evaluación de la historia de la ciencia en la enseñanza, con el cual el profesor puede revisar sus criterios historiográficos y evitar imprecisiones que podrían desorientar a los estudiantes. Porque, de todas maneras, va a explicar la historia de la manera 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, al menos para ellos que se encuentran aún muy lejos de ser científicos.

El instrumento consiste en un cuestionario de 15 afirmaciones (ver anexo 1), donde los profesores han de seleccionar una de tres opciones de que se definen en la pauta para cada afirmación: 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 y vamos a utilizarlo para analizar las propuestas que se hacen en este capítulo.

3. La clase de ciencias como 'actividad científica escolar': aportaciones de la filosofía

La filosofía de las ciencias ha evolucionado mucho desde que Kuhn hizo ver que los *paradigmas* influían en la interpretación de los experimentos. Desde entonces (los años sesenta del siglo XX) se han ido desarrollando tendencias *naturalizadoras* (que se interesan por lo que hacen los científicos, como personas que son) y *dinámicas* (que contemplan la evolución de los conocimientos) y se ha dado importancia a nuevos contextos de producción científica, como el de *educación* y el de *aplicación* (Echeverría, 1995) además de los tradicionales de *justificación o evaluación* (vinculado a la reflexión racional) y de *descubrimiento* (que tiene en cuenta relacionadas con la creatividad).

Interesa ahora el estudio de la '*actividad científica, humana*' que se desarrolla de manera muy compleja hasta dar lugar a los conocimientos bien ordenados que aparecen en los libros de texto y en los programas oficiales. En conjunto, se presenta vinculada estrechamente a fenómenos sociales sin dejar de tener una fundamental dimensión cognitiva que parte de evidencias experimentales. Es también una actividad de intervención en el mundo con intención transformadora y según procedimientos que se van estableciendo y validando por sus resultados, según el juicio de los propios científicos. Este planteamiento, que debe mucho a la historia de las ciencias, es totalmente coherente con los nuevos *currículos CTS* y con algunas de las propuestas de *ciencia para todos*, como iremos viendo.

En primer lugar vamos a ver la importancia de los valores para comprender como se desarrolla la actividad científica (subapartado a). A continuación se considerará un 'modelo de dinámica científica' que tenga en cuenta que las polémicas y los errores son parte de ella, tomando como ejemplo la polémica entre Pasteur y Pouchet (subapartado b).

Para que todo ello contribuya al modelo de ciencia de los alumnos y puedan así captar lo que hay más allá del libro de texto, es necesario disponer de *historias bien explicadas* con las cuales se muestre la dimensión humana que hace que la actividad científica sea *emocionante*. Los conceptos científicos aparecen vinculados a la práctica y no sólo a términos especializados y a fórmulas y los estudiantes pueden formularse preguntas auténticas, como se intentará mostrar en la actividad sobre el 'espíritu de Saturno' es representativo de la orientación de nuestro trabajo (subapartado c).

a. La ciencia es una actividad humana

Una de las principales dificultades en las aulas de ciencia es el desinterés del alumnado; las ciencias presentadas de la manera tradicional (la de los libros de texto) son algo 'que no va con ellos'. Por ello, los profesores priorizan temas que les impliquen (CTS, temas de actualidad, noticias de prensa) y que puedan desencadenar actividad científica escolar (ACE, ver Izquierdo y Aliberas, 2004). Lo que se busca con ello es conectar con los valores de la 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 X10. 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 a las que se conforma la acción y que permiten valorarla.

Una vez explicada así una actividad, es fácil admitir que si alguien *hace algo*, es porque algunas expectativas propias le empujan a ello; si lo hace en un lugar, de una manera determinada y con unos instrumentos concretos es porque sigue determinadas reglas del juego que considera las más adecuadas. El modelo de ciencia que emerge así se basa en una racionalidad valorativa y deliberativa, según 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 y es imprescindible para poner en evidencia El resultado directo de este enfoque ha sido la atención a los instrumentos científicos y al lenguaje (Jiménez Aleixandre, 2000) y, tal como ya se ha dicho, la presentación narrativa de los temas científicos.

b. Aprendiendo de los errores: Un modelo de análisis de la dinámica científica

Nos hemos referido ya a Kuhn, que aproximó la filosofía a la historia y, con ello, abrió el camino hacia este entramado de relaciones que hace a la ciencia más humana e interesante. Su aportación más famosa se refiere a la identificación de épocas de cambio de paradigmas que son semejantes a revoluciones, en las cuales se producen grandes cambios de orientación y de valores en las ciencias debidos a la aparición de anomalías suficientemente importantes como para alterar las prácticas y las teorías del momento. Desde esta perspectiva, las revoluciones parecen algo poco frecuente, mientras que la estabilidad sería lo 'normal' en las ciencias. Sin embargo, esto no es así: las ciencias están cambiando constantemente y lo más normal es que se produzcan controversias científicas en las cuales hay generalmente una idea que se sobrepone a otra y, con ello, se producen pequeños cambios aún poco visibles, pero no por ello menos importantes para comprender bien la dinámica científica.

Las aportaciones que permiten comprender la microdinámica científica tienen un gran valor, especialmente si permiten contemplarlas desde una perspectiva global mediante un 'modelo de análisis de la actividad científica' (Vallverdú, 2002) gracias al cual se tienen en cuenta los factores que podrían haber influido en ella (ver figura 1).

En la figura aparecen cuatro grupos básicos de participación en las controversias científicas: (1) Investigadores científicos, (2) Evaluadores científicos / instituciones científicas (3) Gestión política y (4) Sociedad civil. Al mismo tiempo existe un proceso de comunicación de la información que, hoy en día puede ser llevada a cabo por múltiples agentes: gabinetes de prensa de empresas de investigación científica, comunicados estatales, redes hipertextuales de concienciación ciudadana, prensa escrita, plataformas de la comunicación de masas.

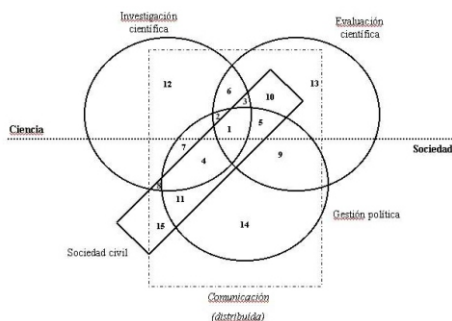


Fig.1. Modelos de análisis de la actividad científica (Vallverdú, 2002)

Si bien todos ellos constituyen ámbitos separados, la matriz de posibles intersecciones entre ellos nos ofrece una nueva **tipología de controversias**.

T1 Es un tipo de controversia en la que todos los posibles agentes implicados participan en el debate. Por ello se denomina *controversia de máxima magnitud* (o.c., p. 177). No existe una única clausura que dé por finalizadas las polémicas en los diversos niveles epistémicos y sociales. Controversias tales como la de la síndrome de Kreutzfeld-Jakob ("las vacas locas"), la capa de ozono, la sacarina, la investigación con células madre o los transgénicos se desarrollan en este nivel.

T2 Estamos ante el caso de controversias entre investigadores y gestores, pero que no ha llegado al público, un tipo de controversia en la que la sociedad civil no toma parte, seguramente debido a una voluntad de secretismo por las partes implicadas. Los conflictos generados durante la carrera espacial entre los Estados Unidos y La URSS a lo largo de los años cincuenta y sesenta del siglo XX son un ejemplo de ello.

T3 Consiste en un tipo de controversia en el que el debate no implica a los gestores políticos, pero que se produce debido a la capacidad de la sociedad civil por informarse de forma independiente y a la voluntad popular de controlar sus vidas. El debate del siglo XIX entre la práctica médica homeopática y la medicina clásica en los Estados Unidos es una muestra de este tipo de polémica.

T4 En este tipo de controversias, científicos, políticos y ciudadanos entran en contacto sin la mediación de los evaluadores. Debemos pensar que los científicos pueden pertenecer a empresas privadas, organismos públicos u organizaciones no gubernamentales (como *Greenpeace*), y que en estos momentos ellos mismos disponen de canales de difusión y debate. Parte de la polémica en torno a los productos químicos presentes en nuestro entorno laboral y familiar constituyen un claro ejemplo de este proceso.

T5 En este tipo de controversias es cuando aparecen de forma más habitual lo que se puede denominar la 'lucha entre expertos', que interpretan los datos y tienen que posicionarse bajo tradiciones científicas, nacionales y culturales diversas, lo que acaba provocando conflictos, una vez el resto de agentes implicados intervienen. El debate sobre el (falso) fósil de Piltdown y su relación con los orígenes no africanos del ser humano nos da una pista de este tipo de conflictos (Kohn, 1988).

T6 Por vez primera nos encontramos ante una controversia ceñida al ámbito de lo científico, en el cuál debemos reconocer la existencia de una gran cantidad de valores, delimitada por una axiología ampliada (Vallverdú, 2000). Un debate entre investigadores y evaluadores, muy habitual en controversias de análisis de riesgos.

T7 Los científicos pueden saltarse el paso de traducción a lenguajes naturales de los evaluadores para intentar debatir directamente con los gestores o los propios gestores están en condiciones de reclamar, exigir o discutir principios de investigación, relativas habitualmente a los costes de las metodologías, la celeridad de

los procesos. Bernat Soria y su campaña por la autorización española de la investigación con células madre muestra la capacidad del científico estatal que emplea la sociedad civil para crear una masa crítica suficiente que impulse un apoyo político a sus líneas de investigación.

T8 Aunque no de forma sistemática y difundida, la capacidad informativa de los investigadores científicos se ha visto incrementada y dispone de suficiente potencia gracias a los recursos hipertextuales, haciendo posible que se produzca un debate entre investigadores y sociedad civil que generalmente se centra en cuestiones de talante ético (investigación con animales, métodos agresivos, ...).

T9 Es el tipo de discusión existente entre gobiernos y empresas, al nivel de las agencias (inter-) estatales de regulación. La construcción de complejos de investigación tecnológica orientada industrialmente es un momento de este tipo.

T10 Se da cada vez más el caso que la sociedad civil cuenta con sus propios expertos (frecuentemente a nómina de organismos estatales como las universidades) y éstos debaten directamente con los evaluadores. Los argumentos científicos parten de presupuestos éticos que determinan la dirección de las discusiones. El pulso entre la FDA (*Food and Drug Administration*) norteamericana y las asociaciones nacionales de diabéticos por la condena o autorización del edulcorante sintético sacarina en 1977, debate ganado por las segundas, constituye un ejemplo de conflicto directo entre gestores y sociedad civil.

T11 Una vez superado el umbral de interrelación entre ciencia y sociedad, nos encontramos el primer tipo de controversia sobre aspectos científicos en los que están únicamente implicados agentes sociales: ciudadanos y gobernantes, grupos de presión contra gestores. Los conflictos relativos a las supuestas relaciones entre los campos electromagnéticos generados por las torres de alta tensión que atraviesan numerosas localidades geográficas en nuestros países y la aparición de cáncer han sido motivo enconado de debate entre ayuntamientos y plataformas ciudadanas.

T12 A partir de este punto, nos encontramos ante controversias en las que están implicados únicamente agentes de un mismo nivel, en este caso, los investigadores científicos que discuten sobre metodología, procesos de regulación de la información (calidad del *peer review*, difusión, premios,...) Incluso en el nivel de debate científico, hay razones económicas sobre la metodología de investigación, valores morales de los expertos, condicionantes culturales en los investigadores, que son factores que deben ser considerados como integrantes intrínsecos del ámbito de lo científico.

T13 Se trata de una controversia en la que están implicados tan sólo evaluadores, normalmente producidas por polémicas en las que se tiene que llegar a resultados uniformes partiendo de datos muy diversos procedentes de disciplinas múltiples, por ejemplo en un análisis de riesgos en el que los evaluadores han de escoger entre datos procedentes de bioensayos animales o estudios epidemiológicos y estructurales. El debate surge frecuentemente en torno a la validez de las metodologías de investigación utilizadas.

T14 Es una controversia al nivel político. Tiene que haberse producido un proceso de información que permita el debate, aunque éste se reduzca al ámbito estrictamente político. Por ejemplo: la regulación de la investigación y el mercado comercial genético.

T15 Este tipo de controversia está situada en el ámbito de la sociedad civil. Los debates televisados sobre aspectos como los modelos económicos, la ecología, las biotecnologías, la astrobiología o la inteligencia artificial son muestras de ello.

La aplicación de este Modelo a situaciones históricas (no sólo del pasado, sino también actuales) pone en evidencia que existen una gran cantidad de formas de participación y debate en un proceso de controversia científica, y que incluso dentro del nivel de debate eminentemente científico (puntos 12 y 13), existen diversos valores a tener en cuenta. Así, nos ofrece un marco teórico para delimitar hechos, valores y los diversos agentes sociales que los mantienen y defienden; puede utilizarse también para comprender mejor episodios históricos, y para darnos cuenta de que faltan datos o desconocemos los valores subyacentes, si es el caso.

En la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) se ha aplicado para promover la discusión de los estudiantes del Curso de Aptitud Pedagógica (CAP) y de Filosofía de la Ciencias sobre la polémica entre Pasteur y Pouchet acerca de la generación espontánea de la vida, que el primero negaba y el segundo defendía. Se trata de un episodio interesante, porque confluyen en él factores más complejos de lo que puede parecernos ahora, cuando Pasteur es ya un héroe de la ciencia y la generación espontánea ha sido descartada. Pero en realidad, los experimentos de Pasteur fueron erróneos, la defensa de la no generación espontánea iba unida al desacuerdo con Darwin y el triunfo de Pasteur frente a Pouchet tuvo mucho que ver con el amiguismo de los 'parisinos' de talante conservador que defendían al primero, un joven bienpensante con futuro, frente al segundo, un médico ya mayor, de provincias y defensor de Darwin (Vallverdú et al., 2010).

c. Una 'historia' para modelizar y aproximarse al concepto de 'elemento'

Vamos a analizar ahora un ejemplo de 'actividad química' que ha sido utilizado para reflexionar sobre la emergencia del concepto de 'elemento químico'. Lo haremos teniendo en cuenta todo lo que se ha argumentado hasta aquí, y se defenderá su pertinencia tanto para la historia como para la enseñanza de la química e incluso para la propia química.

Partimos del supuesto de que la Actividad Científica (Química, en este ejemplo), como toda actividad humana, tiene un componente cognitivo muy importante, que requiere el reconocimiento de situaciones problemáticas que permiten formular las preguntas concretas que generan una comprensión teórica de la intervención experimental. A los estudiantes de ahora se les habla de *entidades químicas* gracias a las cuales se explican las *interacciones entre materiales*

(sustancias simples y compuestas, elementos, átomos y moléculas, enlaces...) y ellos las toman por algo tan real como los objetos que les rodean. Para que comprendan bien su significado, los estudiantes han de dirigir su atención hacia situaciones relevantes para ver el 'problema' que permite formular preguntas cruciales que van a ser explicadas mediante entidades como mol, elemento, valencia y otras.

Tal como ya se ha dicho, asistir con la imaginación, a través de una 'historia' a una situación en la cuál se formularon preguntas cruciales que dieron sentido a un grupo de fenómenos permite comprender cuál fue el criterio que permitió relacionarlos. Una de éstas historias es la que se explica en Izquierdo (2005), teniendo la precaución de no utilizar más datos que los que conocemos, de no especular más allá de lo que nos es permitido, 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 química sino también de filosofía de la ciencia, de historia y de lenguaje.

El protagonista de la historia es el farmacéutico Nicolás Lemery (1645-1715) y se propone a los alumnos que se identifiquen con algún personaje de su época para ver 'lo que pasaba' con los ojos de las personas que asistieron a sus lecciones experimentales y participar de sus dudas y preguntas. La formación de Lemery como boticario empezó a los quince años y se completó a los 26 años, cuando se instaló definitivamente en París, después de haber trabajado en boticas de diferentes ciudades francesas. Su economía fue próspera: preparaba medicamentos, daba lecciones en su propia botica y en locales públicos y editó un *Cours de Chymie* que se reeditó 12 veces (incluso después de su muerte), fue académico; pero pasó también momentos duros debido a la persecución religiosa (él era protestante y acabó convirtiéndose al catolicismo)

En la vida de Lemery pueden identificarse actitudes y valores que pueden compartir los científicos actuales pero muchos otros que forman parte de su realidad histórica: la del cardenal Mazarino y Luís XIV, la época de los 'Tres Mosqueteros, de Molière, de la fundación de l'Académie des Sciences y también de la revocación del Edicto de Nantes (1685), que desencadenó la persecución de los protestantes como él, que habían disfrutado de la libertad de culto que ahora se suprimía.

El episodio que seleccionamos es la obtención del 'Espíritu de Saturno' (nuestra acetona), según un procedimiento que aparece aún en los manuales de química (pirólisis del acetato de plomo o azúcar de plomo, según Lemery), que puede ambientarse según las aportaciones de Fontenelle y de Dumas y de los contemporáneos de Lemery (ver apéndice, en el que se reproduce también el procedimiento de obtención).

Los estudiantes de química, ¿pueden compartir con él y sus colegas alguna preocupación? ¿Se parecen en algo? Lo que nos interesa que se planteen los alumnos es el problema: ¿es apropiado el nombre 'Espíritu de Saturno', teniendo en cuenta que el plomo (Saturno) se queda en la retorta y no en el destilado? Con todas las reservas

razonables que hacen al caso, creemos que sí: ellos se enfrentan a un fenómeno que ven según el sentido común y que han de aprender a ver con ojos de químico, y esto mismo hacía Lemery y otros químicos de su época, los cuales, al cambiar el nombre de la sustancia que obtenían, comprendían mejor su constitución, a la vez que 'seguían la pista' del plomo. Por este camino y con razonamientos parecidos, los químicos fueron identificando 'elementos' y 'compuestos'

La química es así de sencilla: se ocupa de interacciones fuertes entre materiales con lo cual algo de ellos desaparece (*las sustancias*) y algo se mantiene (los *elementos*) y ha de establecer los diferentes itinerarios que siguen estas sustancias para identificar lo que llegarán a ser elementos (el plomo que está en el metal, en el acetato y en el residuo de la retorta va a ser uno de ellos); a la vez, ha de dar un nombre a los materiales que recuerde este itinerario, sobre el cual se apoya y se desarrolla la experiencia del químico.

4. La historia y filosofía de la ciencia en la formación del profesorado

Las ciencias, su enseñanza y su historia forman parte de una misma dinámica cultural en el tiempo y en el espacio y por ello se relacionan necesariamente: las ciencias que se hacen ahora en nuestros países son las que más adelante van permitir a nuestros alumnos ser unos buenos profesionales; los alumnos de ahora van a ser el público de las ciencias de mañana, que votarán, o no, los presupuestos públicos y que determinarán los valores sociales favorables, o no, a las ciencias. Lo que ocurra formará parte de nuestra historia cultural y por ello es razonable aprovechar los conocimientos que se derivan de los tres campos e intentar coordinarlos. Si, por el contrario, se considera que no es necesario saber historia para dar clases se corre el peligro de que no se enseñe '*para mañana*', cuando lo más importante en la educación es ofrecer a los estudiantes un *futuro en el que puedan intervenir racional y razonablemente*.

Por ello, la DC o 'ciencia del profesor de ciencias' reclama la recuperación de la Historia (y de la Filosofía, sin la cual 'la historia es ciega', según Lakatos 1987) para la formación inicial y permanente del profesorado. Las ciencias de hoy, su historia, su filosofía y enseñanza no se supeditan unas a las otras ni deben hacerlo, sino que han de relacionarse necesariamente en la mente del profesor para orientar de manera adecuada su labor docente. Aunque esta relación no es sencilla, creemos que es posible y que no sólo fundamenta a cualquier Teoría Didáctica sino que revierte en nuevas preguntas de investigación para las otras ciencias. La HC, la FC y la DC tienen a las Ciencias como objeto de estudio y, aunque las 'miran' con diferentes finalidades, comparten unas mismas influencias de los paradigmas actuales y determinados planteamientos y criterios; aunque puedan coexistir en su seno diversas tendencias, confluyen al formar parte de una teoría didáctica y pueden 'mirarse entre sí'; y, a través de los profesores, pueden contribuir a que la ciencia reflexione sobre ella misma, sobre lo que es y lo que podría ser en el futuro.

Si las Ciencias se explican al margen de su historia pierden una parte de su significado, porque parecen dogmáticas, descontextualizadas y con un futuro predeterminado: avanzar hacia la verdad y el progreso, sin pensar qué significado llegarán a tener estos dos términos tan arrogantes. En cambio, una ciencia con un futuro imprevisible para quien conoce su pasado histórico complejo y repleto de sorpresas, que se muestra como aventura que nace y se desarrolla por preguntas y valores que son humanos porque tienen una finalidad que la hace racional (aunque lo sea moderadamente) *es la que educa a los alumnos*, porque les da elementos para pensar sobre el mundo y, sobre todo, para imaginar un futuro en el que ellos puedan ser protagonistas.

La formación de los profesores debe facilitar esta mirada amplia que abarca tanto a los conocimientos científicos como a su historia para enseñar mejor las ciencias a unos *jóvenes con futuro*, que van a ser las personas de mañana. Para ello se les ha de ayudar a considerar los conocimientos científicos como resultado de una actividad llevada a cabo en un contexto, con una finalidad 'histórica' (es decir, que corresponde a un momento histórico determinado) pero por personas que piensan y sienten de manera 'humana' y que se interesaron por algunos temas que reconocemos aún y por otros que ahora nos cuesta comprender, pero que movilizaron ilusiones y expectativas en su momento. El profesorado de ciencias formado desde una perspectiva en la que confluyen las ciencias y las humanidades va a devolver a las ciencias la mirada sobre sí misma que le está haciendo falta.

A. Una propuesta de formación basada en la HC

Se ha diseñado una propuesta de formación inicial de profesores (Quintanilla et als, 2005) en la cual se da una importancia primordial a la relación de la historia y la filosofía de las ciencias con las propias ciencias, según un proceso de 'modelización' en 10 etapas, cada una de ellas con sus propios materiales docentes (Izquierdo y Adúriz Bravo, 2004). Lo reproducimos de manera resumida, por su interés y por su apuesta decidida a favor del enfoque que se ha defendido hasta aquí.

Las etapas propuestas son las siguientes

1. *Identificar los dos ejes de formación científica: saber ciencia y saber lo que es la ciencia*

El modelo de ciencia de los profesores determina en gran parte la manera de enseñar. La historia aporta elementos para ello, puesto que invita a pensar sobre la ciencia y a identificar 'modelos' de emergencia de los conocimientos específicos en un contexto cultural determinado.

2. *Identificar y caracterizar los componentes del conocimiento profesional de los profesores de ciencias*

El profesor trabaja para la educación de sus alumnos. Por ello, ha de aceptar que, al presentar problemas científicos en clase, debe hacerlo según tres planos: el instrumental- operativo, el personal - significativo, el relacional o cultural. Es importante tener en cuenta la historia de la educación científica con sus limitaciones y fortalezas.

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 'eruditos' en el aula. El nuevo paso es aceptar que lo fundamental es enseñar a pensar con teorías científicas, didácticas e históricas. (Izquierdo & Aduriz-Bravo, 2003).

4. Identificar la historia de la ciencia que es valiosa para la formación de los profesores de ciencias

Para facilitar esta visión teórica, es importante valorar la aportación de *narraciones en las cuales se presenten temas que hagan pensar*, como por ejemplo la función política de las instituciones, la aportación de las minorías, los valores y aspectos éticos, la diferente consideración de los géneros, los errores que se producen.

5. Procurar que se expliciten los modelos de ciencias de los profesores de ciencias

El resultado de este primer 'bucle' de formación debería ser poner en crisis las representaciones de los futuros profesores sobre ciencias y aceptar una mayor complejidad al caracterizar el pensamiento científico (las teorías, el método, su lenguaje y sus instrumentos)

6. Definir y organizar la secuencia de contenidos

A partir de esta crisis, se han de desarrollar los tres núcleos de formación: histórica, didáctica y científica de manera que sean coherentes entre sí.

7. Identificar contribuciones históricas que son especialmente relevantes para la formación de los profesores

A partir de ahora se inicia un nuevo 'bucle' formativo, en el cual debería pedirse mayor compromiso de los profesores en formación, que deberían implicarse en la búsqueda de contribuciones que les parezcan especialmente relevantes porque ayudan a comprender las circunstancias en la producción de conocimiento. Se ha de recomendar especialmente que se tengan en cuenta los valores y conocimientos de cada época y, a la vez, que intenten comprender la participación de las ciencias en el desarrollo de la sociedad.

8. Identificar ejemplos paradigmáticos de la historia de la ciencia, su transposición y su evaluación.

Conviene ahora identificar 'ejemplos paradigmáticos' de la historia de las ciencias haciendo ver sus consecuencias para comprender la naturaleza de la ciencia, sus métodos y sus instrumentos de investigación. Este enfoque metacognitivo proporcionará al futuro profesor estrategias para diseñar unidades didácticas en las cuales la HC tenga la función de 'instrumento mediador' entre la ciencia de los científicos y la ciencia en el aula. (Ver, por ejemplo, el 'Pendulum Project' como ejemplo de lo que se propone).

9. Pensar de manera metacognitiva sobre la organización de la HC al enseñar ciencias.

Se invita a los estudiantes a evaluar los episodios históricos rehuendo una retórica meramente triunfalista y teniendo en cuenta su valor para la educación científica y para su propio proceso de formación profesional.

10. Reorganizar el currículo de ciencias a partir de las contribuciones de la HC

Creemos que el futuro profesor que se haya formado en HC habrá comprendido que los caminos que conducen a la emergencia del conocimiento científico son muy complejos y esto le permitirá planificar las clases (especialmente, las clases de prácticas) de manera menos ingenua, dando mucha más importancia al discurso en el aula (Quintanilla, 2006).

b. Átomos químicos y átomos físicos

Uno de los ejemplos de este enfoque es la propuesta de una enseñanza de la química que no utilice prematuramente las fórmulas como 'modelo teórico', sino que empiece por generar criterio químico a través de la intervención experimental reflexiva en situaciones químicas que sean familiares a los alumnos y que sean cuantitativas. Se empieza por introducir un concepto químico de átomo, que no se compromete con la realidad física del mismo. La fundamentación de esta propuesta procede del estudio de la química del siglo XIX y su objetivo es proporcionar una mayor comprensión de la magnitud cantidad de materia y de su unidad, el mol (Izquierdo y Adúriz, 2005). Han sido muy importantes las aportaciones de Furió y Azcona en este mismo sentido (Furió et al., 2005).

En este ejemplo, la necesidad de relacionar estos tres núcleos temáticos (estequiometría, historia, comprensión de la magnitud cantidad de sustancia) hace que los futuros profesores reflexionen sobre cuestiones que son fundamentales para su profesión. Y que lo hagan a la vez que se plantean propuestas para mejorar la enseñanza en su contexto. Al desarrollar esta propuesta formativa según el esquema propuesto, las tres disciplinas que dialogan se desarrollan en un nuevo ámbito: el

amplio espacio que proporciona la necesidad de diseñar una ciencia comprensiva para todos, que preocupa a los didactólogos pero que requiere nuevos planteamientos científicos e históricos.

De nuevo, aparecen dificultades y peligros: *históricas*, porque se tiene que hacer una *historia horizontal* para solucionar una dificultad que no existía en ninguna de las etapas que se seleccionan; *didácticas*, porque se han de planificar actividades para las cuales se exige un *pensamiento químico*, cuando las tendencias son a veces mucho más superficiales y parece suficiente saber las palabras de la ciencia aunque no se comprendan del todo; y *científicas*, porque para muchos la ciencia actual puede aprenderse sin referencia alguna a lo que fue en el pasado y pueden considerar que este intento de comprensión profunda de las entidades químicas buceando en su origen es una pérdida de tiempo. Sin embargo, creemos que vale la pena intentar avanzar por este camino.

5. Conclusión

Finalmente, vamos a intentar una valoración del camino que va abriendo esta colaboración entre disciplinas y dar una ojeada al horizonte de la teoría y la práctica de la enseñanza de las ciencias que nos muestra.

La historia de la ciencia ha sido un recurso didáctico utilizado con frecuencia en las clases de ciencias de todas las épocas (también ahora), pero la mayor parte de las veces con una intención retórica. Ahora es ya una disciplina independiente y ha de utilizarse con rigor, por más que adaptada a los objetivos de la educación científica. La historia proporciona una dimensión temporal a la ciencia que la humaniza, al mostrar el trabajo colectivo e intelectual que supone y contribuye a construir un modelo de ciencia apropiado para el diseño de la educación científica. Contribuye, por ejemplo, a combatir las actitudes cientifistas y tecnocráticas que se derivan de unas ciencias enseñadas como 'verdad sobre el mundo' y a mostrar las ciencias como actividad humana y social, en la cual todos pueden participar o al menos están invitados a hacerlo.

En los últimos años han tomado importancia los temas CTS y, en general, las narrativas experimentales; hemos de ver, en ello, la influencia de la historia y de la filosofía en la didáctica. Este tipo de presentación presenta una situación en contexto, en un lugar y época determinada y con actores bien identificados, que *viven* un episodio que *desencadena actividad* científica y que va tomando sentido en la clase. Estas narraciones pueden ser el primer paso del proceso de modelización que se requiere *para pensar a la manera de los científicos* porque invitan al estudiante a implicarse en la situación y a resolver los problemas que plantea, con los valores propios de las diferentes etapas y dimensiones de su trabajo.

No se puede pensar que todos los conceptos científicos actuales tuvieron su precedente en tiempos remotos, ni que los conocimientos habían de evolucionar

necesariamente tal como lo han hecho ni que los científicos actuales sabemos más que los de antes. Sin embargo, al centrarse en la actividad de los científicos e identificarla con cualquier otra actividad 'humana' y social, la historia puede iluminar los procesos de creación de significados en los que confluyen el pensamiento, la acción y los lenguajes, que han dado lugar a los conceptos que aparecen, de una manera abstracta y sin justificación, en los libros de texto.

La historia de las ciencias es la historia de conocimientos que han ido pasando de generación en generación y por ello es esencial para una 'teoría de la clase de ciencias' que ayude a los profesores a diseñar la intervención docente según objetivos formulados con precisión (porque se han identificado los matices del 'comprender' y del 'actuar') y evaluados en función de los valores educativos que van a funcionar para el alumno, para la escuela y la clase, y para las instituciones, en el momento que nos ha tocado vivir.

En resumen, podemos decir que:

- 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, obviamente
- Por todo ello, como que la didáctica trabaja para el futuro de nuestros alumnos, necesita una ciencia con historia.

Lista de referencias bibliográficas

- BACHELARD, G. (1993) La formación del espíritu científico. Siglo veintiuno editores, Madrid.
- BONET, J.J., (2005). Viaje al Reino de Saturno. Madrid: Nivola
- ECHEVERRÍA, J., (2002). Ciencia y valores. Barcelona: Destino
- ECHEVERRÍA, J., (1995). Filosofía de la ciencia. Madrid: Paidós.
- FURIÓ, C., ET AL. , (2005). Conocer la historia de la ciencia para comprender las dificultades de los estudiantes ante los conceptos de sustancia y elemento químico. Actas del VI Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, Tomo I. Pp. 55-6.
- IZQUIERDO, M., (1996). Relación entre la Historia y la Filosofía de la Ciencia y la enseñanza de las Ciencias. *Alambique*, 8, pp. 7-16
- IZQUIERDO, M., SANMARTÍ, N., y GARCÍA, P. (1999). Hablar y escribir: Una condición necesaria para aprender ciencias. *Cuadernos de pedagogía*, ISSN 0210-0630, N° 281, 1999, págs. 54-58.
- IZQUIERDO, M., ADÚRIZ, A., (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science & Education*, 12, pp. 27- 43
- IZQUIERDO, M., ALIBERAS, J., (2004). Pensar, escriure i actuar a la classe de ciències (Per un ensenyament de les ciències racional i raonable). Cerdanyola: Servei de Publicacions de la UAB

- IZQUIERDO, M., (2005). L'obtenció de l'Esperit Ardent de Saturn: una activitat per iniciar el debat sobre els elements i les substàncies. En 'Actes de la 1ª Jornada sobre la Història de la Ciència i l' Ensenyament , Grapí i Massa eds., p. 75-86. Barcelona: SCHCiT.
- IZQUIERDO, M. y ADÚRIZ-BRAVO, A. (2004). Componentes prácticos y axiológicos de los conceptos químicos. Publicación interna. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- IZQUIERDO, M., & ADÚRIZ-BRAVO, A. (2005). Los modelos teóricos para la ciencia escolar. Un ejemplo de Química. Enseñanza de Las Ciencias, (Número Extra), 2-5.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P., (2002). Knowledge producers or knowledge consumers? Argumentation and decision making about environmental management. *IJSE*, 24(11) pp. 1171- 1190.
- KOHN, A. (1988). *False Prophets: Fraud and Error in Science and Medicine*. Oxford, Basil, Blackwell.
- LAKATOS, I. (1987). *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales* (Primera re., pp. 1-160). Madrid: Tecnos.
- MÉHEUT, M. (2004). Designing and validating two teaching-learning sequences about particle models. *International Journal of Science Education*, 26 (5), 605-618.
- NYE, M.J. (1993). *From Chemical Philosophy to Theoretical Chemistry*. Berkeley: University of California Press. California.
- QUINTANILLA, M. (2006) *Historia de la ciencia, ciudadanía y valores: claves de una orientación realista pragmática de la educación científica*. Revista Educación y Pedagogía. U.de Antioquia, Medellín, Colombia (en prensa).
- QUINTANILLA, M.; IZQUIERDO, M. & ADÚRIZ-BRAVO, A. (2005) *Characteristics and methodological discussion about a theoretical model that introduces the history of science at an early stage of the experimental science teachers' professional formation*. Proceedings of IHPST international conference of history and philosophy of science and science teaching, University of Leeds, England.
- VALLVERDÚ, Jordi (2002): *Marco teórico de las controversias científicas: el caso de la sacarina*, Bellaterra: UAB, Tesis Doctoral.
- VALLVERDÚ, Jordi (2000): "Condiciones severas ante indeterminaciones cognitivas: historicidad de la axiología experimental", comunicación publicada en las *Actas del II Congreso de la SLMFCE*, ed. por Mary Sol de Mora, Andoni Ibarra, Eulalia Pérez Sedeño, Isabel Sánchez Balmaseda, Donostia: UPV/EHU, p. 647-658.
- VALLVERDÚ, J., VAQUERO, M., CÁCERES, I., ALLUÉ, E., ROSELL, J., SALADIÉ, P., CHACÓN, G., OLLÉ, A., CANALS, A., SALA, R., COURT, MA., CARBONELL, E., 2010. Sleeping Activity Area within the Site Structure of Archaic Human Groups. Evidence from Abric Romaní' Level N Combustion Activity Areas. *Current Anthropology*, vol. 51, No 1: 137-146.

Anexo 1. PAUTA PARA ANALIZAR LOS CONTENIDOS DE HISTORIA DE LAS CIENCIAS

Se justifica: Mucho Poco Nada
 (SM) (SP) (SN)

Enunciados	SM	SP	SN	Observaciones
1. Se describen los acontecimientos concretos que se produjeron en el pasado en su propio contexto.				
2. Se analiza la investigación y sus resultados sin olvidar los objetivos, los motivos y los valores.				
3. Es una interpretación de los hechos según planteamientos actuales				
4. Es una colección de expresiones empíricas y formales acerca de la naturaleza, que corresponde al conocimiento científico de su época				
5. Se describen las actividades o comportamientos científicos, incluyendo los factores resulten importantes porque, en la época, se relacionaban con el trabajo científico.				
6. Se hace referencia a cuando un acontecimiento es una interpretación histórica o es un hecho objetivo, si es el caso.				
7. Se presentan los acontecimientos históricos de un modo en que pueden recrearse o manipularse porque se muestran los datos de que se dispone.				
8. Se presenta la periodización como obra de los historiadores, no de la ciencia				
9. Se presentan los temas agrupados según el criterio del historiador, sin pretender que refleje una tendencia interna del desarrollo de la ciencia.				
10. Se manifiesta que la ciencia del pasado no debería estudiarse a los ojos de la ciencia que hoy existe, a menos que haya buenas razones para ello. (Ejemplo, analizar la ley de movimiento aristotélica, con el lenguaje, la forma matemática y los términos que contiene la ley con la física de hoy)				
11. Se seleccionan temas según el patrones y valores contemporáneos				
12. Se justifica la presentación de sucesos ficticios				
13. Plantea cuestiones históricas problemáticas, llegándose a encontrar con diversas versiones del hecho				
14. Identifica una idea conductora y se justifica				
15. Evidencia que no hay suficientes fuentes y, por lo tanto, las reestructuraciones son especulación.				

Apéndice

Síntesis del Espíritu Ardiente de Saturno

Nicolas Lemery, Cours de Chymie 8^a edición, 1693, p. 149

(Traducción del francés: M. Izquierdo)

El espíritu de Saturno es un licor inflamable que sale de la sal de Saturno. Llenad de sal de saturno dos terceras partes de una retorta de vidrio bien cerrada. Ponedla en un horno, sobre un fuego muy lento que permita calentar suavemente la retorta hasta hacer que se desprenda una agua felmática... Cuando ya no salga más agua, deja que se enfríe el recipiente y, una vez abierto, vierte el contenido en un alambique de vidrio y rectificalo destilando a fuego de arena muy lento la mitad aproximadamente del licor que hará el espíritu de Saturno inflamable como el agua de vida y de un gusto amargo.

(Siguen sus virtudes, dosis, productos secundarios. A continuación se explica como obtener de nuevo el plomo)

Revificación de la sal de saturno en plomo

Si sacáis la materia negruzca que queda en la retorta & la ponéis en una cápsula sobre carbones ardientes, volverá a ser plomo.

(Siguen 'Observaciones' sobre las cantidades a utilizar y las precauciones que se han de tomar)

Cuanto ácido hay en la sal de saturno

Se ve por esta operación que una onza & seis dragmas de las partes más ácidas del vinagre son capaces de tomar cuatro onzas y sie dragmas de plomo para reducirlo a sal, pero lo más sorprendente es el trastorno que estos ácidos le producen, de manera que no se parece en nada a como era antes.

Aumento sorprendente

El aumento de plomo que queda en la retorta es bien visible, porque hay sies dragmas más de las que se habían puesto de sal de saturno, a pesar de que se ha retirado una onza y seis dragmas de licor, así que es necesario que las cuatro onzas & diez dragmas de plomo hayan aumentado en dos onzas y media.

Opiniones de sus contemporáneos sobre el nombre 'Espíritu de Saturno'

Dice Moïse Charas:

El nombre de aceite o espíritu de saturno es impropio porque éste no es más que espíritu de vinagre... como se puede comprobar si se funde la masa que ha quedado en la retorta, porque ésta no dejará de convertirse en un plomo muy parecido al que hemos utilizado para formar la sal...

Opinions de R. Boyle, en 'Sceptical Chemist'

El fuego no separa cuerpos que prexisten en el mixto, sino que general otros que no se encontraban en él... (A pesar de todo ¿cómo es posible que se vuelva a obener el plomo sin que haya cambiado en nada?)

Opina el propio Lemery

Llamaré a partir de ahora 'espíritu de la sal volátil del vinagre al producto de la destilación de la sal de saturno, para dejar claro que esta substancia derva del vinagre y no del plomo....

Elogios y recuerdos después de muerto

Del Elogio Fúnebre de Fontenelle, secretario de la Académie des Sciencies, 1715

Su laboratorio no era una habitación sino una bodega y más bien un antro mágico, iluminado únicamente por la luz de los hornos (..) los los nombres más famosos se encuentra entre la audiencias (...) Incluso las damas, debido a su fama, tenían la audacia de mostrarse en una asamblea tan sabia. Un año vinieron cuarenta escoceses (..) Como que el señor Lemery los tomaba a pensión, era necesario que su casa fuera suficientemente grande para acogerlos a todos y las casas del barrio se llenaban de personas a media pensión, que como mínimo querían comer en su casa.

En Leçons de Philosophie chimique, J.B. Dumas, 1830

Asomaos a la Rue de Garlande. Seguid a la multitud ruidosa de estudiants que se precipita a ella; no hagáis caso de los ropajes de los señores y de los príncipes ni de las sillas de mano que transportan a las grandes damas. Buscaos un lugar, id hacia allí. Encontraréis un patio, al fondo del patio una puerta baja, una escalera gastada, con la cual bajaréis, o quizás caeréis, a una bodega iluminada por el resplandor rojizo del fuego. Gracias a ella pronto descubriréis los instrumentos de la química y veréis una multitud compacta, atenta, escuchando las lecciones de un hombre joven, que apenas tiene treinta años. Este hombre en el cual se fijan todas las miradas, de cuyas palabras todos están pendiente, ya lo adivináis: es una revolución personificada, es Nicolás Lemery.

Capítulo 2

Algunas orientaciones para la formación docente en historia de las ciencias

Mari Álvarez Lires.

Universidad de Vigo, España

Índice

Introducción

1. Situación actual de la historia de las ciencias

2. Objetivos de la enseñanza de la historia de la ciencia y de la técnica

3. ¿Es posible avanzar?

4. Utilización de textos de historia de la ciencia y de las técnicas: procesos de modelización

Lista de referencias bibliográficas

Introducción

Diferentes estudios y la propia experiencia en formación del profesorado de ciencias de la autora de este capítulo muestran que un importante porcentaje de este colectivo —el de química no es una excepción— desarrolla su actividad docente basándose en un concepto de ciencia hoy obsoleto, que la considera como un conjunto de verdades que han sido descubiertas mediante un único método de investigación, 'el método científico' — ¿inductivo o deductivo? — (Álvarez-Lires, 1999a). Señalaremos como anécdota que en algunos libros de texto de Física y Química del antiguo Bachillerato español, de hace unos 20 años, se incluía un tema en el que, bajo el epígrafe 'el método científico', se podían leer ordenados los diferentes pasos de la metodología inductiva. En los libros de texto actuales, 'el método científico' ya no se corresponde con la inducción, y parece que lo correcto es referirse bajo idéntico epígrafe a la metodología hipotético-deductiva. Ejemplo palpable de incoherencia de la que la mayor parte del profesorado no es consciente.

También se ha constatado que una parte del profesorado considera que la introducción de la Historia de las Ciencias y de las Técnicas (en adelante HCT) constituye una pérdida de tiempo, en nombre de la 'eficacia' de una enseñanza dogmática y axiomática (Álvarez-Lires, 1999a). Sin embargo, aumenta el número de quienes pensamos que su introducción no será la panacea universal que acabe con los problemas de la enseñanza de las ciencias, de la Química, pero puede ser una de las múltiples direcciones en las que se trabaje para disminuir el enorme fracaso constatado, producido, entre otros factores, por aquella orientación axiomática.

Podríamos estar de acuerdo, con toda seguridad, en que un importantísimo objetivo de la enseñanza de las ciencias es enseñar a pensar. Pues bien, la historia de las ciencias, junto a una reflexión filosófica que permita seguir la evolución del pensamiento científico, superará la mera transmisión de conocimientos y fomentará el espíritu crítico del alumnado (Izquierdo&Sanmartí, 1990). Ahora bien, hemos de tener en cuenta que los objetivos de una enseñanza de la HCT han de ser distintos según se trate de diferentes niveles de enseñanza o de la formación del profesorado, y también que se pueden originar nuevos problemas didácticos cuando se trata de introducir dichos contenidos.

1. Situación actual de la historia de las ciencias

La historia de las ciencias es una disciplina que tiene sus orígenes en el siglo XVIII, en la Ilustración, aunque sus antecedentes habría que buscarlos en las polémicas del siglo anterior referentes a la dicotomía *autores antiguos-autores modernos*. En los últimos años, esta disciplina ha despertado un interés creciente, de tal manera que son numerosas las publicaciones internacionales existentes al respecto, así como las investigaciones especializadas (Barona, 1994), junto a la celebración de un número considerable de congresos y simposios en los que participan aquellas personas que podríamos denominar 'el grupo convencido' de la utilidad, del interés y de la necesidad de la reflexión sobre el quehacer científico-técnico. Existe también un conjunto de instituciones dedicadas al fomento del estudio y de la investigación de la HCT en Europa y en Latinoamérica. Sin embargo, esta efervescencia investigadora no correlaciona con la implantación de la disciplina en los planes de estudios ni en la formación del profesorado, dominios de los que está prácticamente ausente, pese a que, como ya señalaban Audigier & Fillon (1991), la preocupación referente a esta implantación procede del siglo XIX. Veamos algunos ejemplos de lo que acabamos de afirmar:

1) En el contexto de las Reformas del sistema educativo español de 1990 y de 2006 se revisaron las fundamentaciones, contenidos y metodologías de las asignaturas y áreas científicas, pero si bien es cierto que en las orientaciones de los currículos aparece la necesidad de contemplar las interacciones ciencia-tecnología-sociedad y la de considerar la ciencia como un conocimiento provisional, en continua revisión y sometido a crítica, ahí se ha quedado la cuestión, pues falta la necesaria formación del profesorado al respecto, y los materiales didácticos editados tampoco ayudan demasiado a esa incorporación de la HCT a la que nos estamos refiriendo. Por lo que respecta a la enseñanza universitaria, los nuevos planes de estudios tampoco se han preocupado excesivamente de la cuestión, si bien hemos de señalar una mayor implantación de los estudios histórico-científicos en las facultades de medicina y en las de física, mientras que la existencia de la historia de la química como asignatura es, de momento, la excepción. Junto a ello, los nuevos planes de estudios universitarios, derivados de la integración en el Espacio Europeo de Educación Superior de los últimos años, correlacionan con una disminución del número de programas de doctorado en HCT, algunos de ellos con una importante tradición. Finalmente, la implantación de la lei denominada Lei para la Organización y Mejora de la Calidad

Educativa (LOMCE), en Educación Primaria, Secundaria y Bachillerato, ha traído consigo un importante retroceso en los enfoques ciencia-tecnología-sociedad y ha suprimido asignaturas como la de Ciencias para el Mundo Contemporáneo y Educación para la Ciudadanía, desde las que era posible introducir al alumnado en una visión abierta y crítica sobre las citadas interacciones.

2) En el caso de Francia, Audigier & Fillon (1991) citan hasta siete informes elaborados en los años 80 respecto a la introducción de la HCT en los estudios científicos, pero reconocen que no se han traducido en orientaciones definidas para los responsables del sistema educativo. Existe una finalidad común que se hace explícita en un informe de l'Académie des Sciences, consistente en hacer más inteligibles los saberes científicos y, como consecuencia, contribuir a la formación del espíritu crítico.

Continuación de esta preocupación ha sido el proyecto de elaboración de un estudio sobre el papel de la Historia de las Ciencias en la educación universitaria, y también la Conferencia sobre HCT en la Educación y en la Formación en Europa (Strasbourg, 1998), iniciativas promovidas por todas las academias europeas bajo los auspicios de la Unión Europea. En la citada Conferencia se analizó la situación de cada país europeo, elaborando un informe en el que se describen las acciones que se deben realizar en todos los niveles de la enseñanza y de la investigación, encaminadas a lograr el equilibrio entre la producción científica de la disciplina y el lugar que le corresponde ocupar en la docencia. Sin embargo, el desarrollo de tal proyecto no se ha realizado hasta hoy.

1.1. Las razones de esta situación

De lo que hemos dicho hasta ahora podemos deducir algunas de las razones de esta situación, que ya hemos comentado en otro lugar (Álvarez-Lires, 1999a), bien entendido que algunas son, al mismo tiempo, causa y consecuencia de ella:

- La ausencia de la HCT en la formación inicial del profesorado, sobre todo de aquel que procede de Facultades y de Escuelas Técnicas.
- La falta de atención en los planes de enseñanza secundaria y su ausencia en la mayor parte de los universitarios.
- El paradigma dominante en los centros docentes y en la investigación: neopositivista, utilitarista y cientifista,
- La concepción de ciencia que transmiten los libros de texto universitarios y de enseñanza secundaria, como un conjunto de verdades absolutas, que ha surgido *ex nihilo* gracias al 'método científico' (conviene no olvidar que se trata del material didáctico utilizado, casi en exclusiva, por la mayor parte del profesorado).
- Escasez escandalosa de material didáctico debidamente fundamentado en esta área del conocimiento.
- Desaparición de programas de doctorado en HCT y de asignaturas en la enseñanza secundaria y en el bachillerato, como consecuencia de enfoques legislativos retrógrados.

1.2. ¿Qué historia de la ciencia?

En el caso de que se haga referencia a la HCT en libros de texto o en materiales didácticos con pretensión de modernidad casi siempre encontramos una 'historia' de algún invento, de los grandes hombres, que no mujeres, que han hecho la ciencia, semejante a la historia de las grandes batallas o presentándola como una lucha entre la luz y las tinieblas, entre la verdad y el error, de las que son paladines armados caballeros generosos y geniales, que tiene poco que ver con la realidad de su producción y construcción. Así que convendría que nos preguntásemos: ¿qué HCT?

Hemos extraído del *Dictionnaire des sciences historiques de Burguière* (1986) qué se entiende por historia de las ciencias y por historia de las técnicas para ilustrar de alguna manera nuestra disertación. Respecto a la historia de las ciencias:

"El término historia de las ciencias designa muchas cosas a la vez. Evoca una gran cantidad de investigaciones que van desde la descripción de un instrumento o de una máquina hasta el análisis de una estructura conceptual de una teoría; de la biografía de un sabio a la historia de una institución científica; de la influencia de las ideas filosóficas y religiosas sobre las teorías a la cuantificación de las subvenciones gubernamentales e industriales a la investigación; de la epidemiología estadística al análisis del origen social de los premios Nobel. Como los demás tipos de historia, la historia de las ciencias tiene también fronteras inciertas y abiertas. Se relaciona con la historia de las técnicas, con la del pensamiento religioso, la epistemología y las ciencias sociales. De donde se deduce la existencia de un gran abanico de métodos, que van desde la erudición filológica aplicada a la edición crítica de un texto científico a un acercamiento antropológico; de los métodos estadísticos a la historia de las instituciones" (Burguière, 1986).

1.3. Respecto a la historia de las técnicas:

La historia de las técnicas es un extenso sector de reflexión, de estudio y de publicación, que no ha recibido hasta hoy el lugar que le corresponde en las obras generales de historia, en los programas escolares y universitarios y, consecuentemente, en una definición de la cultura. Esta situación marginal contrasta con el papel que la técnica y las innovaciones tecnológicas juegan en la formación profesional, en la estrategia política de los estados y en la vida práctica de las sociedades contemporáneas. La paradoja se debe, en parte, a la difícil delimitación del campo de observación, si admitimos que la técnica pueda ser definida por su objeto, la producción de todo aquello que la naturaleza es incapaz de realizar. Incluso cuando se reúnen las técnicas más variadas en un sistema que constituye la base operacional de las sociedades humanas, se puede reconocer la desigual importancia histórica que se otorga a los saberes técnicos y a las múltiples aplicaciones de la ciencia.

[...] Desde muchos puntos de vista, la historia general ha hecho de la historia de las técnicas una especie más modesta aún que la historia de las ideas porque el lenguaje científico ha permanecido hermético al análisis histórico y porque el útil y la máquina, incorporados desde

hace poco al patrimonio cultural de las naciones, son testimonios mudos de procesos laboriosos totalmente extraños al mundo del saber y de los escritos universitarios".

Podemos apreciar, en estos textos, la enorme complejidad que se encierra bajo esos dos términos que, por otra parte, no es diferente que la que se esconde tras el término ciencia sobre el que aparentemente existe consenso. No es éste el lugar para analizarlo, lo hemos hecho en otro lugar (Álvarez-Lires, 1999a), pero baste con decir que el siglo XX ha sido testigo de innumerables debates y polémicas sobre el particular. 'Las diferentes miradas de quienes se dedican a la historia de las ciencias están inextricablemente ligadas a las concepciones que tienen de la propia ciencia' (Lacombe, 1997).

2. Objetivos de la enseñanza de la historia de la ciencia y la técnica

Aunque, obviamente, los objetivos de la enseñanza de la HCT deben ser diferentes si se dirige a alumnado de secundaria o universitario, y otro tanto cabría decir si hablamos de formación inicial o de formación permanente del profesorado, creemos que una gran parte de las finalidades que expondremos seguidamente puede ser aplicable a ella, siempre que se tengan en cuenta las especificidades necesarias, que hemos analizado en otro lugar (Álvarez-Lires, 1998b). Antes de abordar la cuestión de los objetivos y del interés didáctico de tal enseñanza, algunos de los cuales ya hemos esbozado, convendrá que nos detengamos a pensar someramente sobre cuál puede ser la utilidad de la HCT Siguiendo a Kragh (1990), citaremos algunos de los argumentos empleados frecuentemente en la literatura especializada:

- La historia de la ciencia sirve de forma inmediata para el quehacer diario del científico activo. Colabora a orientar sus investigaciones y le ofrece un instrumento analítico para llevar a cabo una evaluación crítica de los conceptos y de los métodos de la ciencia moderna.
- La historia de la ciencia es útil para el desarrollo de estudios metacientíficos en relación con la filosofía y la sociología de la ciencia.
- La historia de la ciencia posee una función didáctica acerca de la naturaleza del conocimiento científico, que la convierte en una disciplina capaz de ejercer una función crítica y antidogmática.
- La historia de la ciencia puede desempeñar el papel de unión entre las dos culturas tradicionalmente separadas: la de las ciencias naturales o experimentales y la de las humanidades.
- La historia de la ciencia no necesita, para su existencia, de justificaciones pragmáticas o de conexiones con otras disciplinas. Tiene un campo propio de acción y un estatuto característico como disciplina autónoma.

Podríamos referirnos a multitud de argumentos sobre el particular, que reflejarían las visiones de cada uno de sus autores y que han nutrido innumerables debates a lo largo de siglo XX, en los que no entraremos, pero sí podemos afirmar que, en la actualidad, la historiografía de la ciencia, superando los enfoques biográfico-heróicos e incluso los de la historia de las ideas, ha incorporado planteamientos de la

historia social y de la historia económica que han resultado muy productivos para estudiar aspectos tales como las sociedades y las políticas científicas, la institucionalización de la ciencia, para poner de manifiesto que la creencia positivista en una ciencia neutral o la afirmación dogmática de un único método científico que siempre nos acerca a la verdad eran construcciones que adolecían de falta de consistencia intelectual (Barona, 1994). El citado autor indica que la ciencia como construcción colectiva a lo largo del tiempo debe ser el objeto de análisis. Por lo que respecta al interés de la enseñanza de la H.C.T, en nuestra opinión, tiene dos vertientes:

- Una, de carácter didáctico, ayudando a la comprensión de los problemas de aprendizaje del alumnado.
- Otra, de carácter cultural, actuando sobre las representaciones que el alumnado tiene de la ciencia, de la técnica y de las relaciones entre ciencia, técnica, género y sociedad.

2.1. El carácter didáctico

De acuerdo con diversos estudios, citados en este artículo, podemos afirmar que la enseñanza de la HCT debe proponerse cuestionar una enseñanza de las ciencias, organizada, casi en exclusiva, alrededor de la presentación de resultados, de conceptos ya contruidos. Así, pues, debe trabajar sobre el origen de los saberes, ya que éstos responden a problemas planteados, a preguntas sobre fenómenos que se han ido interpretando de manera diferente durante un largo proceso (Álvarez-Lires, 1999b; Izquierdo, 1997). La ciencia no ha surgido de la nada.

Pero, además, ha de abrir una reflexión sobre las disciplinas y sobre los instrumentos intelectuales elaborados para pensar, para explicar la realidad, como leyes, teorías, modelos o conceptos, mostrando que éstos no se han construido de forma acumulativa, sino que su significado y uso son producto de reorganizaciones sucesivas. Otros estudios señalan la utilidad de la enseñanza de la HCT para detectar obstáculos conceptuales (Piaget & García, 1983), inspirándose en lo que se sabe de los obstáculos epistemológicos históricos.

Sin embargo, otros autores como Scheidecker & Laporte (1998) indican que esta utilización se ha de hacer con prudencia, ya que pueden surgir otros obstáculos diferentes, no previstos, porque obviamente las circunstancias de hoy no son las mismas del período o acontecimiento histórico-científico estudiado. De todas formas, es innegable el papel que tal enseñanza puede desempeñar en la toma de conciencia, por parte de los estudiantes, de los obstáculos conceptuales que deben superar, contribuyendo mediante la acción docente a la reorganización de su pensamiento.

La enseñanza de la historia de las ciencias y de las técnicas puede ser un medio para reflexionar sobre ellas como construcciones humanas, mostrando que las teorías científicas son productos históricos, que se han puesto en cuestión, reelaborado y sometido a la crítica a lo largo de la historia. Debe señalar, también, la importancia y el interés de los debates, de las controversias y de los conflictos de diverso tipo puestos

en juego en la producción de las teorías científicas, así como subrayar la importancia de las dudas y del error para avanzar en el desarrollo de dicho conocimiento. El error adquiere así otro significado, pues ya no es solamente el alumnado el que incurre en él; a las grandes figuras de la ciencia les ha sucedido antes. Esta circunstancia puede contribuir a reforzar la autoestima del alumnado (Fauque, 1998).

Por otra parte, las titulaciones del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) han de capacitar para el desarrollo de competencias profesionales (Izquierdo, 2009), mientras que las etapas de educación primaria y secundaria han de servir para el desarrollo de competencias básicas. En este sentido, la HCT puede ayudar en la consecución de dichas competencias y, en particular, de las científicas (Álvarez-Lires et al, 2013).

En síntesis, podríamos decir que utilizar la HCT puede permitir, entre otras cosas:

- Hacer surgir las representaciones del alumnado a partir, por ejemplo, del estudio de un texto histórico o de la interpretación de una experiencia. Ello pondrá de manifiesto las distintas representaciones existentes en el aula. En una segunda fase, se puede mostrar que estas representaciones 'espontáneas' son insuficientes para explicar los hechos experimentales, así como, si existen, mostrar el paralelismo presente entre tales representaciones y algunas explicaciones dadas en otros tiempos por las comunidades científicas.
- Servirse de ellas para organizar futuras intervenciones didácticas.
- Situarle ante algunos momentos históricos de reorganización del pensamiento.
- Contribuir al desarrollo de competencias científicas.

2.2. El carácter cultural o las relaciones ciencia-tecnología-género-sociedad

Esta perspectiva puede ofrecer al alumnado una visión de la manera en que la HCT ha participado en la formación de la cultura; además, toda reflexión sobre estas relaciones o sobre las condiciones de producción y de definición de una ciencia invita a considerar sus implicaciones éticas. La producción científica y técnica es una construcción social e individual que pone en juego valores (Álvarez-Lires, 1999b). Es importante hacerse preguntas sobre el significado del progreso científico, sobre el papel de las ciencias y de las técnicas en la formación de nuestras sociedades, sobre los valores implicados en las orientaciones de las investigaciones científicas y técnicas.

En el contexto francés, el informe Bourdieu-Gros (1985) señala la importancia de la reflexión sobre estas relaciones (no incluye el género) indicando:

“La enseñanza de las matemáticas o de la física, de la misma manera que la de la filosofía o la de la historia, puede y debe permitir trabajar la historia de las ideas, de las ciencias o de las técnicas (a condición de que el profesorado sea formado en consecuencia) [...] una enseñanza capaz de recoger al mismo tiempo la ciencia y la historia de las ciencias y la epistemología”.

(Bourdieu-Gros, 1985).

De esta manera, la enseñanza de la HCT contribuye a la formación de la cultura científica y técnica, estudiando las relaciones Ciencia-Técnica-Sociedad e interrogándose sobre qué es la ciencia. Habrá que analizar en qué momentos históricos la técnica ha ido por delante de la ciencia, en qué momentos ha sido al revés, en cuáles ha habido una independencia relativa entre ambos campos, o de qué manera interaccionan, oponiéndose así a la idea de dependencia mecánica y jerárquica entre ciencia y técnica. También se podrá poner de manifiesto la influencia social tanto para una como para otra y, consecuentemente, la de los poderes políticos, económicos y de la cultura de la época en estudio, así como los valores implicados en la orientación de la investigación científica y técnica.

Debemos investigar cuál es la imagen que el alumnado tiene de la ciencia y de la técnica y de la inserción de su producción en la sociedad (Álvarez-Lires & Soneira, 1994). La orientación que estamos esbozando exige una reflexión sobre los presupuestos éticos y culturales que subyacen a aquella producción y que, casi siempre, permanecen ocultos. La ciencia es una actividad social, colectiva, pero también personal (Keller, 1991), y quienes se dedican a su construcción y producción son seres humanos (hombres y mujeres) que viven relacionándose dentro de una comunidad científica y en una sociedad determinada.

Hemos de poner de manifiesto la existencia de mujeres científicas, eruditas en todos los tiempos, pero se trata también de revalorizar aquellas actividades de las que tradicionalmente se han encargado las mujeres y en las que desarrollaron amplios saberes relacionados con el cuidado de las enfermedades, la elaboración de los alimentos, el lavado y blanqueo de la ropa, los tintes y un largo etcétera que, aunque hoy estén en manos de la química, de la industria o de la medicina oficial, tuvieron una existencia de muchos siglos en los saberes cotidianos de aquellas que nos precedieron (Álvarez-Lires, Pizarro & Soneira, 1994; Solsona, 1997; Álvarez-Lires et al, 2003).

Trabajar sobre las condiciones de elaboración del saber puede contribuir a elaborar unas representaciones más abiertas de las disciplinas escolares y de los saberes científicos (Izquierdo, 1997).

Si conseguimos la articulación de los objetivos didácticos y culturales, que hemos separado a efectos analíticos, la enseñanza de la HCT puede ser un medio de motivación del alumnado para el estudio de las ciencias, la reflexión sobre ellas y, en definitiva, para el desarrollo de competencias científicas.

2.3. Dificultades

Ya hemos señalado algunas dificultades al exponer las causas de la ausencia de tal enseñanza en la mayoría de los planes de estudio o la falta de hábito de trabajo en equipo, útil para las necesarias aproximaciones pluri o interdisciplinar, pero existen muchas otras de diferente índole, que reseñaremos a continuación.

Somos conscientes de la dificultad que entraña dicha enseñanza para la mayoría del profesorado que no se ha formado en este campo. Esta situación genera

inseguridad y rechazo; pero, además, debemos añadir a ello la falta casi absoluta de materiales didácticos apropiados en todos los niveles educativos.

Por otro lado, nuestra ingenuidad no es tanta que nos haga creer que todo es ventaja a la hora de introducir la enseñanza de la HCT. Se plantean problemas didácticos, como la aparición de nuevos obstáculos conceptuales, la dificultad de convivir con la duda y la incertidumbre, la elección entre los diferentes enfoques historiográfico-didácticos que existen y un largo etcétera. Asimismo, nos gustaría señalar unos cuantos problemas, de índole histórico-epistemológica (Álvarez_Lires, 1998a), que nos hemos encontrado en la práctica docente, no con objeto de desanimar al profesorado, sino en un intento de abordar toda la complejidad de la cuestión:

- El peligro de juzgar las producciones científicas a la luz de los conocimientos actuales.
- El presupuesto implícito del progreso lineal y acumulativo de los conocimientos científicos.
- La dificultad de la necesaria aproximación pluridisciplinar o interdisciplinar.
- El problema de la relación entre la realidad y los modelos utilizados para explicarla.
- La idea, implícita o explícita, de que el método científico (¿inductivo?, ¿deductivo?) consiste en un conjunto de reglas que permiten acceder a un conocimiento veraz.
- El refuerzo de las representaciones espontáneas del alumnado.
- La utilización de la anécdota biográfica, que puede reforzar ideas como la de que la producción científica y técnica es obra de ciertos hombres geniales en exclusiva.
- La presentación de las teorías actuales en una relación causa-consecuencia con las anteriores.

Por todo ello, la elección de textos, de objetos de estudio y de presentación de los mismos ha de hacerse con sumo cuidado. Como contrapartida, queremos resaltar el enriquecimiento intelectual que proporciona el conocimiento del desarrollo de una disciplina, según Izquierdo & Sanmartí, 1990:

Un trabajo que profundice en sus fuentes permite relacionar el entramado conceptual que se ha formado y el problema que se intenta solucionar. Esta forma de trabajo permite comprender marcos conceptuales diferentes a los actuales, utilizados para interpretar fenómenos que hoy comprendemos bien y que se explican mediante teorías actuales. Nos permite también conocer la relación entre la ciencia y la cultura (valores) de una época determinada y analizar la influencia de las ciencias —de un estilo de conceptualizar— en el desarrollo de una sociedad." (Izquierdo & Sanmartí, 1990).

3. ¿Es posible avanzar?

De acuerdo con las conclusiones de la citada Conferencia de Strasbourg, señalaremos, entre otras, las siguientes:

- Introducción de la HCT en los planes de estudios universitarios y de enseñanza secundaria (algo que parece muy lejano en este momento).
- Fomento de la investigación en este campo metacientífico.
- Establecimiento de cursos universitarios de tercer ciclo, referentes a la HCT, así como a la formación permanente del profesorado, que contemplen, además, la necesaria reflexión epistemológica.
- Elaboración de textos y material didáctico que incluyan visiones históricas de la ciencia y de la técnica de acuerdo con las orientaciones que se han esbozado en este capítulo.
- Introducción y análisis de textos, material audiovisual y experiencias histórico-científicas en las materias de ciencias experimentales y de la didáctica correspondiente en estudios de Grado y de Postgrado.

En el momento actual, al menos en España, las tres primeras líneas aparecen en un horizonte muy lejano, pero las dos últimas pueden ser una posibilidad de avance.

4. Utilización de textos de historia de la ciencia y las técnicas: procesos de modelización

En el contexto de un Programa de doctorado en Historia de las ciencias y de las técnicas de las Universidades de Vigo y de Santiago de Compostela (desafortunadamente desaparecido), con alumnado que mayoritariamente ejerce la docencia en la Enseñanza Secundaria, se realizaron análisis de textos histórico-científicos originales para propiciar la formación en este campo.

Se partió de las fuentes, desentrañando su sentido implícito, investigando el esquema conceptual subyacente para comprender los procesos de modelización correspondientes (Halbwachs, 1974; Robardet & Guillaud, 1994). El interés de desvelar el modelo reside en hacer consciente al alumnado de que el objeto de las ciencias no es solamente describir fenómenos, sino también elaborar herramientas de pensamiento y de lenguaje que permitan interpretar la realidad y predecir otros fenómenos diferentes. Además, nos parece importante, para comprender los procesos de construcción de la ciencia, reflexionar sobre la validez del modelo en el momento concreto, en función de la coherencia entre el sistema de pensamiento científico y los hechos experimentales que trata de interpretar. Se han de investigar las causas de abandono del modelo, los procesos de cambio científico relacionados con la interpretación de la realidad a la luz de nuevos hechos experimentales o de la evolución histórica de los conocimientos, teniendo en cuenta el contexto social, cultural y epistemológico.

Analizando un conjunto de textos, debidamente secuenciados, se podrá constatar la existencia de diferentes explicaciones científicas referentes a los mismos fenómenos, todas ellas coherentes y construidas con rigor. La validez y la riqueza conceptual de los modelos puede medirse por su capacidad de producir nuevas experiencias en la comunidad científica de esa época. Hélène Metzger (1932) opina que estudiados los modelos de esta forma, la alquimia, la iatroquímica u otras disciplinas, que hoy no se consideran ciencias, no nos parecerán aberraciones, sino

modelos fecundos de un tiempo pasado que han contribuido al proceso de producción y construcción de la ciencia moderna.

La apropiación de la estructura de un modelo puede ser un marco en el que se sitúen los conocimientos científico-técnicos que se van adquiriendo y puede permitir observar el progreso de la ciencia y de la técnica, un proceso que no es lineal, en el que aparecen diferencias, reorganizaciones y rupturas a lo largo de la historia.

Por otra parte, estudiar a través de los textos las diferentes metodologías empleadas por los 'sabios', o incluso por la misma persona en distintos momentos o procesos, desmitificará la idea de un solo método científico para todos los casos. Se observará que la investigación puede ser empirista, que se utilizan los razonamientos por analogía, la aproximación inductiva, la hipotético-deductiva o una mezcla de dos o más metodologías. También nos pueden permitir detectar obstáculos epistemológicos (Bachelard, 1934).

Para ello, en primer lugar, es necesario el conocimiento del marco histórico-epistemológico del período en estudio, dentro del cual habrá que situar el pensamiento del autor o autora, cuáles son sus concepciones o cuál es su programa de investigación. Conviene proporcionar, también, unas notas biográfico-científicas para situar dicho programa.

A continuación, como hemos indicado, se trata de investigar cuál es el modelo científico del proceso estudiado, a través de las explicaciones teóricas y de las experiencias que se describen. Siguiendo a Halbwachs (1974) y a Robardet & Guillaud (1994), hemos utilizado una secuencia de identificación de diferentes aspectos, distinguiendo entre el campo experimental y el teórico. Hemos usado mapas conceptuales, y adelantamos la hipótesis de que para tal fin pueden utilizarse las Vs de Gowin, pero todavía no las hemos experimentado.

La secuencia utilizada, tomada de Scheideker y Laporte (1998), ha sido la siguiente:

1. Identificación de los objetos experimentales.
2. Relaciones entre los objetos experimentales.
3. Los objetos teóricos.
4. Relaciones entre el campo teórico y el experimental.
5. El modelo conceptual subyacente.

Subrayaremos que hemos encontrado dificultades para separar unos aspectos de otros, a la hora de realizar el análisis de los textos, pues es difícil sustraerse a la interacción que existe entre ellos. En el pensamiento científico seguramente son indisolubles.

Finalmente, queremos indicar que la utilización de textos no es la única forma de introducir la HCT, sino que también es posible ilustrar este conocimiento con la

realización de las experiencias indicadas en ellos, cuando la información es suficiente, y con la utilización didáctica de los museos y de los antiguos gabinetes de historia natural, pero no hemos explorado todavía tales posibilidades, aunque existen interesantes trabajos sobre el particular (Bugallo, 1998). Por problemas de espacio no se pueden ofrecer ejemplificaciones didácticas de lo que acabamos de exponer, pero es posible utilizar para ello la bibliografía comentada que ofrecemos en este artículo que contiene gran variedad de textos histórico-científicos y su utilización en las aulas y en la formación del profesorado.

Lista de referencias bibliográficas

- ÁLVAREZ-LIRES, M. & SONEIRA, G. (1994). Enseñanza y aprendizaje de las Ciencias Experimentales: la Coeducación como meta. En: *Premios nacionales de Investigación e Innovación Educativas, C.LD.E.-M.E.C.*, Madrid. Se trata de un resumen de investigaciones realizadas con alumnado de enseñanza secundaria en el que se analiza su visión de la ciencia y se ofrecen propuestas para mejorar la situación.
- ÁLVAREZ-LIRES, M.; SONEIRA, G. & PIZARRO, I. (1994). Ciencias de la Naturaleza: un enfoque coeducativo desde la historia de las ciencias en Occidente, Consejería de Educación y Ciencia. Junta de Andalucía, Sevilla. Materiales abiertos que incluyen propuestas didácticas sobre la historia de las mujeres en la ciencia, que se pueden utilizar en diversas secuencias de enseñanza y aprendizaje.
- ÁLVAREZ-LIRES, M. et al. (1997). Unha experiencia sinxela para traballar con modelos científicos. En: M. A. Álvarez-Lires y M. P. Marino, *O Ensino da Química*, Universidade de Vigo. Muestra una posible forma de trabajo de modelización en ciencias con alumnado de E. Secundaria.
- 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. Se trata de un resumen-diagnóstico de la situación de la HCT en la enseñanza secundaria y en las universidades españolas, así como las posibles líneas de mejora de esta situación.
- ÁLVAREZ-LIRES, M., (1999b). ¿Ciencia objetiva y universal o construcción social y simbólica?, Jornadas del Instituto Vasco de la Mujer, Emakunde, Vitoria. Un repaso por los debates de la historia y la filosofía de la ciencia que incluye los estudios de género y ciencia!.
- ÁLVAREZ-LIRES, M.; ÑUÑO, T; SOLSONA, N. (2003). Las científicas y su historia en el aula. Ed. Síntesis, Madrid. Materiales didácticos susceptibles de ser utilizados en aulas de todos los niveles educativos y en formación del profesorado.
- ÁLVAREZ-LIRES, M. et al (2013). La historia de las ciencias en el desarrollo de competencias científicas. *Enseñanza de las Ciencias*. 31 (I), pp. 213-233. En dicho artículo se expone una experiencia de investigación-innovación, realizada en aulas universitarias de Grado en Educación Primaria, utilizando vídeos de HCT.

- AUDIGIER, F. & FILLON, P. (1991). Enseigner l'histoire des sciences et des techniques, INRP, Paris. Ofrece abundantes ejemplos de la utilización didáctica de la HCT.
- BACHELARD, G. (1934). *Le nouvelle esprit scientifique*, Paris: P.U.F. Famosa obra de reflexión sobre la ciencia en la que aparece el fecundo concepto de "obstáculo epistemológico".
- BARONA, J. II (1994). Ciencia e Historia, Seminari d'Estudis sobre la Ciència, Godella-Valencia. Un libro fundamental para iniciarse en la historia de la ciencia, su metodología, historiografía y fuentes.
- BUGALLO, A. (1998). Tese de Doutoramento, Universidade de Santiago de Compostela. Estudia las relaciones entre la didáctica de las ciencias y la historia de la ciencia, sobre todo en lo referente a la utilización didáctica de los museos y del patrimonio histórico-científico.
- BURGUIÈRE, A. (1986) (dir.). *Dictionnaire des sciences historiques*, PUF, Paris.
- DEBRU, C. (ed.), (1999), *Conference on the History of Science and Technology in Education and Training in Europe*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. Es una obra que reúne todas las aportaciones de la Conferencia indicada, celebrada en Strasbourg en 1998.
- 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.
- HALBWACHS, F. (1974). *La pensée Physique chez l'enfant et le savant*, Neu-chatel, Delachaux et Niestlé, Paris. Una reflexión sobre el pensamiento científico, de la física, en los niños, sus errores y su paralelismo con aquellos en los que han incurrido los sabios de antaño.
- IZQUIERDO, M. (1997). ¿Qué sabemos actualmente sobre la construcción del conocimiento?. En: M. Álvarez-Lires y M. P. Marino, *O Ensino da Química*, Universidade de Vigo. Se presenta un modelo cognitivo de ciencia para estudiar los procesos de construcción del conocimiento, tanto los históricos como los que se producen en aulas y laboratorios
- IZQUIERDO, M. *et alii* (2009). *Guia per a l'avaluació de la competència Científica a ciències, matemàtiques i tecnologia*. Barcelona: Agència per a la Qualitat del Sistema Universitari de Catalunya. Ofrece orientaciones muy interesantes para evaluar dicha competencia en aulas universitarias.
- IZQUIERDO, M. & SANMARTÍ, N. (1990). Contribució de la historia de les ciències a la formació del professorat i a la recerca en didàctica de les ciències. En: Codina & Llobera (eds.), *Historia, Ciència i Ensenyament*, E.U. del Professorat d'E.G.B., S.E.H.C.Y.T., Barcelona. Una aportación basada en la experiencia de un curso de doctorado sobre la relación entre la historia y la didáctica de las ciencias.
- KELLER, E. F. (1991). Reflexiones sobre Género y Ciencia, Trad. Cast.: Ed. Alfons El Magnànim, Valencia. La autora aborda la crítica de la supuesta neutralidad de la ciencia y pone de relieve los sesgos de género existentes en su producción y construcción.

- KRAGH, H. (1990). Una introducción a la Historiografía de la Ciencia, Trad. Cast.: Barcelona, Crítica. El autor reivindica para la HCT el estatuto de disciplina consolidada y, además de dar cuenta de su utilidad, revisa las diferentes corrientes historiográficas en pugna.
- LACOMBE, G. (1997). L'Introduction de l'histoire des sciences dans l'enseignement de biologie en second cycle. En: J. Rosmorduc (dir) *Histoire des sciences et des techniques*, CRDP, Bretagne.
- METZGER, H. (1969). Les doctrines chimiques en France du debut du XVII á la fin du XVIII Siécle, Librairie Blanchard, nouvelle édition, Paris. Tanto esta obra como la siguiente citada, a pesar de proceder de los años 30 del siglo XX, ofrecen análisis sumamente interesantes y difíciles de encontrar de épocas, ideas y autores relevantes para la historia de la química.
- METZGER, H. (1974). Newton, Stahl, Boerhaave et la Doctine Chimique, Librairie Blanchard, nouvelle édition, Paris.
- OGILVIE, M. (1988). Women and Science. Antiquity through the Nineteenth Century, The Massachusetts Institute of Technology. Un diccionario alfabético de mujeres científicas olvidadas por la historia de la ciencia hasta épocas muy recientes.
- PIAGET, J.; GARCÍA, R. (1994). Psychogénèse et histoire des sciences, Flanmarion, Paris. Presenta una reflexión interesante sobre las dificultades que ofrece la introducción de la historia de las ciencias en la enseñanza, sin negar sus ventajas.
- ROBARDET, G. & GUILLAUD, J.C.(1994). Éléments d'épistémologie et de didactique des Sciences Physiques, IUFM, Grenoble. Establece y ejemplifica la necesaria relación entre la didáctica de las ciencias físicas y la reflexión epistemológica.
- ROSMORDUC, J. (1996). L'histoire des sciences, C.N.D.P., Paris. Interesante manual que ofrece un resumen inteligente de lo que ha sido la historia de las ciencias desde la óptica de la historia de las ideas.
- SCHEIDECKER, M. & LAPORTE, G. (1998). Textes historiques et modélisation en Physique-Chimie, IUFM de Nice, Département Interdisciplinaire d'études, de Recherche et de Formation, Nice. Ejemplificación de la manera de desentrañar los modelos subyacentes en textos histórico-científicos. Muy útil en formación del profesorado y cursos de doctorado, postgrado, etcétera.
- SOLSONA, N. (1997) Mujeres científicas de todos los tiempos, Talasa, Madrid. La autora realiza un recorrido a través de los siglos de las contribuciones de las mujeres, tanto desde la ciencia oficial como desde los saberes tradicionales femeninos.
- VVAA (1998). History of Science and Technology in Education and Training in Europe. Final Document, Louis Pasteur University, Strasbourg. Informe y resumen de los debates llevados a cabo en la conferencia del mismo nombre.
- VVAA (1998). The Role of History of Science in University Education. Draft Report of the ALLEA (All European Academies) Working Group, Louis Pasteur University, Strasbourg. Informe sobre la situación institucional de la HCT en la enseñanza universitaria en Europa.

Capítulo 3

Las 'historias de la ciencia' y sus adaptaciones a la enseñanza: un debate abierto

Agustí Nieto-Galan.

Universitat Autònoma de Barcelona

Indice

Introducción

1. La herencia positivista: progreso indiscutible e historia de las grandes figuras

2. La ciencia como fenómeno cultural complejo y su historicidad

Epílogo: La nueva historia de la ciencia: ¿Para enseñantes o para estudiantes?

Lista de referencias bibliográficas

Introducción

En 1789, el químico francés Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) publicó uno de los libros más famosos de la Historia de la Ciencia: el *Traité élémentaire de chimie*, considerado como el texto fundacional de la llamada 'química moderna'. El lector se preguntará sin embargo en qué consistía esa supuesta modernidad de una obra de finales del siglo XVIII, que vio la luz precisamente el mismo año del estallido de la Revolución francesa, acontecimiento este último también emblemático de la modernidad occidental.

La modernidad de la química de Lavoisier representaba un enfrentamiento serio con la tradición, con el Antiguo Régimen de la química, con las reminiscencias alquímicas, con siglos de 'savoir faire' de artesanos diversos en pequeños talleres. Se trataba de una oposición a una filosofía natural heredada de la Revolución científica de los siglos XVI y XVII que confería a la química un estatus epistemológico ambiguo y notablemente subordinado, por un lado a las ciencias físico matemáticas y por otro a las ciencias de la vida. La modernidad consistía en consecuencia en hacer tabla rasa del pasado, en ignorar las antiguas tradiciones y crear un corpus teórico y experimental nuevo e inédito: una nueva nomenclatura abstracta, una nueva teoría de la combustión basada en los nuevos aires descubiertos, un nuevo estilo experimental, Así, para Lavoisier, el éxito de su nueva química se fundaba en el olvido del pasado, en

una renovación profunda que el mismo se atrevió a llamar 'revolución química'. En alguno de sus escritos afirmaba con rotundidad que la mejor manera de enseñar química a las jóvenes generaciones era precisamente obviar cualquier referencia histórica. Es decir, lo mejor para enseñar la ciencia (o al menos, la química) era eliminar la historia.

Si siguiéramos al pie de la letra el consejo de Lavoisier de finales del siglo XVIII deberíamos concluir que lo mejor es no 'marear' a los estudiantes con 'batallas' del pasado sino tratar de comunicarles los elementos fundamentales de la 'ciencia normal' de una época – en términos de Thomas Khun –. Es decir, siguiendo el espíritu del libro de texto, transmitir con eficacia los consensos fundamentales del presente y obviar los aspectos más controvertidos heredados del pasado, así como las incertidumbres del futuro. De hecho, si analizáramos los planes de estudio de materias de ciencias experimentales tanto en el ámbito de enseñanza secundaria como en la Universidad, sería relativamente sencillo constatar que, efectivamente, el contenido histórico en la formación de los jóvenes científicos es sino nulo, a menudo anecdótico. Al estilo de los llamados científicos historiadores del siglo XIX, algunos profesores – formados en una determinada especialidad científica – se lanzan a veces a presentar pequeñas viñetas históricas, como introducción de sus lecciones. Así se mencionan algunos detalles sobre la vida de Galileo, Newton o Einstein en clase de física, sobre Lavoisier, Dalton, o Mendeleev en clase de química, o sobre Lamarck, Darwin o Mendel en clase de biología. Este tipo de historia superficial, una historia ornamental pero vacía de instrumentos intelectuales útiles, se suele combinar además muy a menudo con discursos retóricos de los dirigentes de la política educativa sobre la necesidad de 'humanizar' la ciencia y la tecnología, un verbo este último demasiado desprovisto de contenidos sólidos a la hora de su aplicación práctica.

Sin caer en anacronismos, me temo que tanto la historia de la ciencia basada en superficiales biografías de los grandes nombres como la retórica vacía del verbo humanizar, le darían seguramente la razón a Lavoisier. La tesis sería: formemos buenos científicos a partir de los conocimientos fundamentales de nuestra época contemporánea, y no perdamos el tiempo en historias del pasado que en el fondo acabarían confundiendo al alumno. O volviendo a la química, expliquemos bien nuestra teoría atómica contemporánea, consigamos que nuestros alumnos manejen bien los orbitales moleculares, y olvidemos las bolas de colores de Dalton, o la lluvia de infinitas partículas de Epicuro o Lucrecio. No perdamos el tiempo contando 'historias'.

No obstante, cuando traspasamos la frontera de las ciencias experimentales (las *hard sciences*) y nos adentramos en el mundo de la economía, las ciencias sociales o las propias humanidades, es fácil comprobar como el peso de la historicidad sigue siendo fundamental en la formación de las futuras generaciones. Thomas Kuhn (1922-1996) había planteado inicialmente en su *Estructura de las Revoluciones Científicas* (1962) que una nueva teoría científica suele ser inconmensurable o incompatible con la anterior una vez se ha producido la revolución. Es decir, el paradigma heliocéntrico que colocó el Sol en el centro de nuestro cosmos a partir de la obra de Nicolás Copérnico en 1543 habría liquidado el viejo paradigma geocéntrico de Aristóteles y

Ptolomeo. Aunque Kuhn matizó posteriormente esta cuestión, esta supuesta inconmensurabilidad, y como consecuencia, el desinterés por la historia, ha presidido buena parte de la cultura científica y de las políticas educativas occidentales. Pero, insisto: esto no ha sido así en otros ámbitos del saber. Autores como Adam Smith, o David Ricardo siguen siendo de lectura obligatoria para la formación de los futuros economistas, y una materia llamada 'Historia Económica' parece incuestionable en la mayoría de planes de estudio de esta especialidad. Platón, Maquiavelo, o Locke, entre muchos otros parecen también referencias obligadas para los futuros científicos sociales – politólogos, sociólogos, etc.- por no hablar de los clásicos de la literatura, la filosofía, o el arte para los estudiantes de humanidades.

Podríamos discutir hasta la saciedad la vigencia actual de las llamadas dos culturas de Charles Pierce Snow (1905-1980), la científica y humanística, que se habrían escindido dramáticamente en Occidente provocando una fragmentación del saber que impide una aproximación global e integradora. Es muy probable que nuestros sistemas educativos adolezcan en buena parte de esta enfermedad, pero mientras existan materias llamadas física, química, matemáticas, biología o ciencias naturales en nuestros planes de estudio, deberemos decidir de una vez si suscribimos el diagnóstico ahistórico de Lavoisier, o si apostamos por algún tipo de aproximación histórica.

1. La herencia positivista: progreso indiscutible e historia de las grandes figuras

A pesar de sus esfuerzos por introducir algunos contenidos históricos en asignaturas científicas, es muy probable que un gran número de docentes experimente una cierta sensación de inutilidad ante sus propuestas. La introducción de rasgos superficiales de la vida y obra de las grandes figuras, o la presentación de la historia de la ciencia como un antecedente incuestionable de los contenidos científicos que aparecen en un tema determinado, atrapa a la historia entre las garras de las aburridas introducciones de los libros de texto, y predisponen al profesor y al alumno a acabar lo antes posible con esa retórica de 'precalentamiento', para entrar de una vez en la teoría y los problemas, en el núcleo duro de un determinado tema, del que a la larga habrá que dar cuenta en exámenes y evaluaciones diversas. Así, la historia de la ciencia se convierte a menudo en un atractivo papel de envoltorio, que embellece la presentación de determinados temas, pero que es perfectamente prescindible. De hecho, esta cuestión situada en el ámbito escolar no es más que un reflejo más del poco valor atribuido a la historia de la ciencia, y en particular a la historia de las ciencias experimentales, en las sociedades contemporáneas.

Aunque las voces críticas con respecto a un incuestionable progreso científico técnico han crecido de manera notable en la segunda mitad del siglo XX, en buena parte como consecuencia del mundo heredado después de la Segunda Guerra Mundial, persiste todavía al inicio del siglo XXI una importante herencia positivista que ha imbuido sutilmente en nuestras mentes una reconstrucción teleológica y presentista del pasado, a fin de reforzar una idea de progreso acumulativo y unidireccional. La historia de la ciencia sería en este contexto la historia de los grandes logros de la humanidad en su esfuerzo continuado por comprender y modificar la naturaleza; la epopeya de grandes

genios irrepetibles, de generaciones que han superado siempre a las anteriores, de antecedentes indiscutibles de nuestra sabiduría presente, de grandes teorías e ideas, que con independencia de las condiciones materiales de cada época o lugar histórico se habrían erigido en los símbolos inequívocos del progreso científico.

Esta es una aproximación a la historia de la ciencia más o menos acorde con la practicada en las facultades de ciencias del siglo XIX, y quizás de parte del siglo XX, pero que debiera ser considerada como ingenua y superficial en nuestras sociedades científico técnicas contemporáneas. De ahí su pobre atractivo como estrategia docente a pesar de su hegemonía todavía hoy en numerosos planes de estudios y libros de texto. Veamos un ejemplo ilustrativo:

Galileo fue un gran 'científico'; realizó supuestamente importantes experimentos de física y matematizó el movimiento. En consecuencia puede ser presentado como un antecedente de la física experimental que todavía hoy se enseña. No obstante, más allá de esta retórica positivista, si nos adentramos como historiadores en su vida y obra original, el panorama se ensombrece espectacularmente y aparecen pronto las tentaciones – fieles al espíritu de Lavoisier – de olvidarnos de la historia, o simplemente relegarla a esa categoría poco problemática y políticamente correcta de papel de envoltorio de la ciencia 'con mayúsculas'. Así, si nos acercamos con algo más de rigor a Galileo, veremos que sus demostraciones matemáticas del siglo XVII son muy diferentes de la matemática actual y requieren de un esfuerzo de análisis y comprensión muy notable. Además cuando profundizamos en su biografía, pronto descubrimos que ese supuesto choque frontal entre ciencia y religión – puesto de manifiesto en la persecución y condena a la que fue sometido por la Inquisición – parece más complejo de lo esperado. En la misma curia romana había posiciones diferentes respecto a la teoría heliocéntrica de Copérnico y el movimiento de la Tierra alrededor del Sol. Incluso las relaciones cortesanas del propio Galileo podrían haber influido en parte del debate, y las observaciones de sus contemporáneos a través de su famoso telescopio parecen controvertidas. Es más, si la contribución de Galileo se convierte en una maraña de difícil clarificación cuando entramos de verdad en la historia del personaje, qué decir por ejemplo de Isaac Newton, el supuesto padre de la física moderna, que hoy sabemos escribió miles de manuscritos sobre una práctica supuestamente irracional como la alquimia, la cual, desde la tradición positivista, no parece haber contribuido a la emergencia de la ciencia moderna.

El problema de esa historia de la ciencia decorativa, que se ha venido usando con intensidades variadas en la enseñanza de la ciencia, reside precisamente en su superficial y distorsionada reconstrucción del pasado. Así como los diversos regímenes políticos manipulan y han manipulado la historia a su conveniencia (o al menos, priorizan unos temas de investigación en detrimento de otros en función de sus intereses) una determinada cultura científica, liderada por los científicos profesionales y seguida por los enseñantes con poca distancia crítica, ha abonado una historia de la ciencia apromblemática, ideal para conmemoraciones, aniversarios y pequeñas introducciones sobre los antecedentes 'correctos' de cada lección en los libros de texto.

¿Qué es mejor, saber física sin tener ni idea de quién fue Galileo o Newton, o aprenderla con un poco de historia decorativa sobre Galileo o Newton? Seguramente Lavoisier nos contestaría que la primera opción es la más eficaz y práctica, y a partir de todo lo expuesto en estos últimos párrafos, el lugar de la historia de la ciencia parece muy comprometido, a no ser que replanteemos con detenimiento el tipo de aproximación que vamos a utilizar.

2. La ciencia como fenómeno cultural complejo y su historicidad

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

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

Ahí reside precisamente uno de los problemas principales cuando queremos considerar la ciencia como parte de la cultura. Si la enseñanza y la divulgación de la ciencia están condicionadas por esa “dominant view”, vertical, elitista, poco democrática, demasiado dependiente de los intereses de científicos profesionales alejados del complejo debate cultural de las sociedades contemporáneas, sus contenidos (e incluyo aquí la historia de la ciencia) serán siempre débiles, poco atractivos, a menudo considerados como exóticos, extraños o irrelevantes por parte de los miembros de la cultura humanística en términos de Snow, como unos aburridos

invitados a una fiesta en la que la ciencia parece algo inaccesible, con pretensiones de neutralidad, que no encaja en las discusiones sobre política, arte, literatura, etc. Es decir, las estrategias de comunicación de la ciencia son en general débiles desde el punto de vista humanístico. Nos parece obvio encontrar en los periódicos comentarios críticos sobre la política, la economía, el cine, el teatro, etc., pero cuando buscamos las páginas de ciencia solemos encontrar inverosímiles viajes espaciales en busca de nuevos rincones del universo o nuevos descubrimientos médicos. Si en algún caso la noticia tiene que ver en algún momento con la historia de la ciencia, ésta suele reducirse a comentar el aniversario del nacimiento o muerte de una figura internacional o local, alabando a menudo acríticamente sus virtudes ignoradas. Así la historia de la ciencia en los medios de comunicación se parece también a la historia de la ciencia de los libros de texto, atrapada entre el desinterés de los humanistas, la cómoda *dominant view* para científicos profesionales, y la debilidad metodológica de sus planteamientos.

En la tradición de la historia de las ideas en particular, y de la historia de la filosofía en general, la historia de la ciencia ha jugado históricamente a lo largo del siglo XX un papel importante, que, a pesar de sus luces y sombras, no deberíamos dejar de considerar. No hay que olvidar que buena parte de las disciplinas científicas se profesionalizaron a lo largo del siglo XIX y que la propia palabra 'científico' empezó a usarse sólo a partir de 1830-40. En los siglos anteriores las explicaciones sobre la naturaleza formaban parte de la llamada filosofía natural, y no es de extrañar por tanto que autores como el propio Galileo o Newton hayan sido estudiados profusamente desde la historia de la filosofía. A pesar de su énfasis excesivo en las grandes ideas abstractas desligadas a menudo de los contextos históricos en los que se gestaron, esa historia de la ciencia cultivada en facultades de Filosofía y Letras, se ha beneficiado de su independencia de la *dominant view* y del control de los científicos profesionales. A pesar de lo retórico de la palabra 'interdisciplinariedad', y de las dificultades reales de llevarla a la práctica, parece bastante obvio que una historia de la ciencia equidistante de las dos culturas de Snow sería un puente ideal de síntesis de disciplinas, hasta ahora muy difícil de lograr.

Para comprender de verdad a Galileo y sentir que su vida y obra tienen un gran valor intelectual en nuestras sociedades contemporáneas, conviene saber algo de matemáticas y de física (al menos conceptos y ecuaciones básicas como las del movimiento uniforme, el movimiento uniformemente acelerado o el tiro parabólico), pero debemos también tener una cultura histórica suficiente de la época del Renacimiento, de la visión del mundo en el siglo XVII, de las complejas relaciones de la Iglesia Católica con la Universidad, o de las tecnologías de la guerra, entre otras muchas cosas. Sólo un sutil entramado de piezas científicas y humanísticas nos puede aproximar con un cierto rigor a la vida y obra del filósofo natural pisano. El producto que emerge de una aproximación de este estilo trasciende las historias de la ciencia decorativas antes mencionadas, así como una simple historia de las ideas de tradición filosófica. Es un producto intelectual nuevo, rico en matices y detalles, que entrena nuestra mente para la comprensión de otros problemas complejos, hoy muy presentes en nuestras sociedades contemporáneas.

Ahí reside precisamente el posible valor de la historia de la ciencia como instrumento de comunicación científica nuevo tanto en el ámbito de la enseñanza como en el de la divulgación. Además de enriquecer notablemente el conocimiento de nuestro pasado, nos puede proporcionar mecanismos metodológicos e intelectuales para afrontar los nuevos retos de la cultura tecnocientífica del siglo XXI. Desde esta perspectiva, la historia de la ciencia se convierte así en un nuevo lenguaje, en una nueva matemática para la complejidad contemporánea. Veamos algunos ejemplos:

Una las grandes preocupaciones actuales es el riesgo creciente de la crisis ecológica del planeta que parece estamos adquiriendo con nuestro desarrollo industrial a todas luces insostenible. En pocos años los problemas relacionados con el medio ambiente han pasado de ser sólo denunciados por pequeños grupos verdes o ecologistas a instalarse con gran fuerza en las instituciones políticas. Sin embargo, si intentamos analizar algunos de los grandes problemas medioambientales (contaminación del aire y del agua, cambio climático, acumulación de residuos, disminución de la capa de ozono, pérdida de la biodiversidad, etc.) enseguida tomaremos conciencia de su compleja interdisciplinariedad.

Casi nunca las decisiones sobre la construcción de una nueva carretera o industria en un hábitat determinado responden únicamente a factores científicos o tecnológicos. Intereses políticos, económicos, percepciones variadas de la naturaleza y de los límites de su explotación, etc. juegan un papel fundamental, hasta el punto de que el acuerdo 'científico', supuestamente objetivo, sobre los daños medioambientales perpetrados por un determinado desarrollo tecnológico parece casi imposible. Si además tenemos en cuenta el hecho de que los problemas medioambientales también tienen historia, y han existido incluso en épocas preindustriales como muestra del eterno dilema sobre los límites de la explotación de la naturaleza en nuestro beneficio, deberemos concluir que una historia de la ciencia con acento medioambiental sería un instrumento intelectual de gran utilidad y con planteamientos y perspectivas sólidamente interdisciplinares. En este juego no vale saber sólo física, o biología, o economía, o se mezclan con detenimiento y con todos sus matices las dos culturas de Snow o el problema parece desbordarnos; en especial cuando contemplamos atónitos la incapacidad política de llegar a acuerdos globales sobre los grandes problemas medioambientales del planeta en las grandes cumbres internacionales.

Además, la necesidad de una profunda cultura interdisciplinaria se extiende también a buena parte a las nuevas tecnologías de la información, a esas espectaculares cajas negras, milagros de la electrónica y de la computación emergentes en la segunda mitad del siglo XX, y que han provocado y están desarrollando uno de los grandes cambios tecnológicos de la historia. En el ámbito de la educación y también en el de la divulgación científica, de poco parece serviría volver a las leyes de Newton o las disciplinas científicas tradicionales para analizar este tipo de fenómenos. Incluso una historia de la tecnología basada en los grandes inventos y en un continuo progreso de la ciencia moderna parece declararse insuficiente para comprender lo que está pasando en nuestra contemporaneidad. Si no

entendemos un ordenador personal, un teléfono móvil, o la propia red de internet como complejas cajas negras de las que desconocemos la mayor parte de detalles científicos y técnicos de su funcionamiento, como objetos sociales o culturales que forman parte intrínseca de nuestra civilización, como fuentes de estudio de la misma, como terminales de nuestra propia personalidad, difícilmente podremos construir un discurso crítico sobre la sociedad actual. Entre los chips, los SMS, y la organización del trabajo y de las relaciones sociales en forma de red no hay una frontera clara, y es precisamente esta especie de continuum 'ser humano-máquina' que requiere de herramientas profundamente interdisciplinarias de análisis que una historia social y cultural de la ciencia puede proporcionar.

Esta situación se puede extrapolar también a la biotecnología, a los nuevos materiales, la carrera espacial, el desarrollo de la energía nuclear, etc. -. Ejemplos todos ellos que requieren de nuevas aproximaciones transversales, más allá de las antiguas tradiciones disciplinares y en los que la metodología de la historia de la ciencia puede ser de gran utilidad, más allá de dar a conocer de manera crítica el pasado de esos propios desarrollos tecnocientíficos. Así como las nuevas tecnologías de la información están modificando de manera sustancial pilares tradicionales del lenguaje (desde la crisis de la ortografía, la caligrafía, o el empobrecimiento del vocabulario y de la cultura literaria ante al auge imparable de la cultura de la imagen), la tecnociencia contemporánea ha modificado nuestra tradición disciplinaria del conocimiento, de manera que o creamos nuevas entidades y categorías para comprender lo que está sucediendo o convertiremos a las próximas generaciones en analfabetos funcionales en ciencia, en autómatas capaces de resolver problemas de física, química o matemáticas al estilo del siglo XIX, cada vez más alejados de la actual revolución tecnológica en marcha.

Llegados a este punto, es posible que el ejemplo utilizado para ilustrar mis posiciones con relación a la historia de la ciencia haya entrado también en crisis. De hecho esa nueva tecnociencia contemporánea – desde el medio ambiente a la energía nuclear, de los PCs a los móviles – ha extendido la cultura científica a millones de personas. Los grandes genios individuales del pasado, los Galileo, Newton, Darwin, Einstein han sido sustituidos por una big science de grandes complejos científico-militar-industriales de investigación, con sofisticados equipos de trabajo. Se trata de una enorme empresa colectiva en la que los grandes nombres y las grandes ideas o teorías se han difuminado rápidamente, y donde los usuarios o consumidores han pasado a tener un papel especialmente relevante. Si seguimos transmitiendo a las nuevas generaciones – estudiantes y públicos potenciales – una *dominant view* de la ciencia y de la tecnología sin conectarla con una cultura popular de uso extensivo de las nuevas cajas negras, el resultado será probablemente a corto plazo una desafección creciente por las tradicionales materias y carreras de ciencias – de hecho, el número de estudiantes matriculados en primer curso de matemáticas, física o química parece estar disminuyendo en muchos países – para pasar a engrosar las estadísticas de las nuevas ingenierías, o simplemente el salto a otros campos de formación alejados de la vieja tradición de la filosofía natural, es decir de la búsqueda de respuestas consistentes sobre cómo es la naturaleza que nos rodea. Diversos autores consideran

incluso que los grandes esfuerzos que las sociedades occidentales han llevado a cabo para divulgar la ciencia y la tecnología al gran público, no se corresponden con los resultados obtenidos, en los que prima una cierta desafección, lejanía e incluso una sensación de esoterismo e inaccesibilidad. Sólo una aproximación más ambiciosa – y obviamente más interdisciplinaria – a una cultura científica y tecnológica popular, la de las grandes masas consumidoras de cajas negras, podría paliar en parte este problema. Así, sólo una historia, filosofía o sociología de la ciencia preocupada por 'los otros': profanos en general, clases bajas, lectores, estudiantes, etc., sólo una historia social y cultural de la ciencia en un sentido amplio puede combatir la hegemonía cultural de esa *dominant view* que todavía hoy parece atenazar las variadas estrategias de comunicación científica.

Epílogo: La nueva historia de la ciencia: ¿Para enseñantes o para estudiantes?

Si en un acto de notable optimismo, nos vemos capaces de aprender esa historia de la ciencia de vocación cultural y social amplia, a partir de la asimilación de los trabajos de los profesionales de esta disciplina en las últimas décadas, supuestamente liberada de positivismos, teleologismos, exagerado culto a los héroes, y estrecha disciplinariedad – tarea nada simple por otro lado –, todavía nos queda por decidir cómo aplicamos todo este corpus de conocimiento en aras de la mejora de las estrategias y métodos de comunicación científica.

No deberíamos descartar el hecho de que a pesar de este esfuerzo de renovación, nuestro héroe Lavoisier, continuara teniendo razón en su defensa de la ahistoricidad en la enseñanza de la ciencia. De hecho esa historia de 'envoltorio decorativo' puede aburrir y desmotivar a los alumnos, pero esa nueva historia ambiciosamente interdisciplinaria puede representar una barrera de gran dificultad para los estudiantes. Los más resistentes al cambio nos contestarían seguramente de inmediato que 'quien mucho abarca poco aprieta', y seguramente tendrían buena parte de razón. ¿Qué es mejor, que un alumno aprenda bien en la teoría y en la práctica las tres leyes de Newton, o que intente integrar todos los factores que constituyen un problema medioambiental con el riesgo de acabar sin conocer bien ni la biología, ni la física, ni la economía, etc., es decir, sin asimilar unas bases mínimas de las tradicionales disciplinas científicas? Ahí está muy probablemente el reto y el riesgo que corremos. Por consiguiente, el debate se debería centrar, según mi punto de vista, al menos en una primera etapa, en cómo introducir esa historia social y cultural de la ciencia a los potenciales comunicadores de la ciencia (profesores y divulgadores), como parte de su formación metodológica e intelectual.

Una vez estos se hayan replanteado su propia concepción de la ciencia, y la propia herencia positivista que recibieron a lo largo de su formación, quizás habrán interiorizado una imagen nueva y renovada de la propia ciencia y tecnología, más horizontal, abierta, democrática, sometida a la crítica por parte de públicos y audiencias; habrán tomado conciencia de su importancia en la vida cotidiana de millones de personas. A partir de aquí, una vez se enfrenten a sus estudiantes o públicos potenciales en general, usaran su libertad intelectual y sus propias

convicciones para decidir cómo explicar ciencia, a ser posible liberados de esa terrible obligación de colocarle un bonito papel de envoltorio a algo que otros han decidido unilateralmente que es muy importante y prioritario en nuestra cultura contemporánea. Si enriquecemos nuestras miradas críticas hacia el pasado de la ciencia y de la tecnología, éste nos devolverá con toda seguridad sugerentes ideas para transitar con más sabiduría por nuestro tortuoso siglo XXI.

Lista de referencias bibliográficas

- BENSAUDE-VINCENT, B. (2000), *L'opinion publique et la science. A chacun son ignorance*. Institut d'édition scenofi-synthélabo. Paris.
- BENSAUDE-VINCENT, B.; BLONDEL, C. (1988) (eds.) *Vulgariser les sciences (1919-1939): acteurs, projets, enjeux. Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences*, 24.
- BENSAUDE-VINCENT, B.; RASMUSSEN, A. (eds.) (1997) *La science populaire dans la presse et l'édition. XIX^e et XX^e siècles*. CNRS. Paris.
- BENSAUDE-VINCENT, B.; BERTOMEU-SANCHEZ J.R, GARCÍA BELMAR, A. (2003) *L'émergence d'une science des manuels. Les livres de chimie en France (1782-1852)*. Editions des archives contemporaines. Paris.
- BIAGIOLI, M. (ed.) (1999) *The Science Studies Reader*. Routledge. Londres.
- BROKS, P. (1996) *Media Science before the Great War*. MacMillan Press Ltd. London.
- COLLINS, H.; PINCH, T. (1996) *El gólem. Lo que todos deberíamos saber acerca de la ciencia*. Crítica. Barcelona.
- COOTER, R.; PUMPHREY, S. (1994), "Separate Spheres and Public places: Reflections on the History of Science popularization and science in popular culture", *History of Science*, 32, 237-267.
- GEYMONAT, Ludovico (1979) *Historia de la Filosofía y de la Ciencia*. Crítica. Barcelona 1985. 3 vols.
- GOLINSKI, J. (1998), *Making Natural Knowledge. Constructivism and the History of Science*. Cambridge University Press. Cambridge.
- HALL, A. (1954) *La revolución científica, 1500-1800*. Crítica. Barcelona 1985.
- HANKINS, T. (1988) *Ciencia e ilustración*. Siglo XXI. Madrid.
- HESENBRUCH, A. (ed). (2000) *Reader's Guide to the History of Science*. Fitzroy Dearbor Publishers. London, Chicago.
- HILGARTNER, S. (1990) "The dominant view of popularisation: conceptual problems, political issues", *Social Studies of Science*, 20, 519-539.
- HOLTON, G.; BRUSH, S. (1984) *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Reverté. Barcelona.
- HOLTON, G.; BLANPIED, W. (eds.) (1976) *Science and its public: The changing relationship*. Reidel. Dordrecht.
- KNIGHT, D. (1988) *La era de la ciencia*. Pirámide. Madrid.
- KRAGH, H. (1989). *Introducción a la historia de la ciencia*. Crítica. Barcelona.
- KUHN, T. (1975). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica (ed. original en inglés, 1962).
- MASON, S. (1984) *Historia de las Ciencias*. Alianza. Madrid. 5 vols.

- MAZZOLINI, R. (ed.) (1993) *Non-Verbal Communication in Science prior to 1900*. Olschki. Firenze.
- OLBY, R. C.; CANTOR, G. N.; CHRISTIE, J. R. R.; Hodge, M. J. S. (eds.) (1990) *Companion to the History of Modern Science*. Routledge. London, New York.
- PESTRE, D. (1995) "Pour une histoire sociale et culturelle des sciences. Nouvelles définitions, nouveaux objets, nouvelles pratiques", *Annales Histoire, Sciences Sociales*, mai-juin, 487-522.
- PICKSTONE, J. (2000) *Ways of Knowing. A New History of Science, Technology and Medicine*. Manchester University Press. Manchester.
- ROSSI, P. (1990). *Las arañas y las hormigas. Una apología de la historia de la ciencia*. Crítica.Barcelona.
- ROSSI, P. (1998) *El nacimiento de la ciencia moderna en Europa*. Crítica. Barcelona.
- SHAPIN, S. (1990) "Science and the public", in OLBY, R.C.; CANTOR, G.N.; CHRISTIE, J.R.R.; HODGE, M.J.S. (eds.) *Companion of the History of Modern Science*. Routledge. London, 990-1007.
- SHAPIN, S.; BARNES, B. (1977) "Science, nature and control: interpreting Mechanics' Institutes", *Social Studies of Science*, 7, 31-74.
- SHAPIN, S. (2000) *La revolución científica. Una interpretación alternativa*. Paidós. Barcelona.
- SHEETS-PYENSON, S. (1976) *Low scientific culture in London and Paris, 1825-1875*. PhD Dissertation. University of Pennsylvania.
- SHINN, T., WHITLEY, R. (eds.) (1995) *Expository Science. Forms and Functions of Popularization*. Kluwer. Dordrecht.
- SNOW, C.P. (1959) *The Two Cultures and the Scientific Revolution*. Cambridge University Press. Cambridge.

Capítulo 4

Sobre la historia de las ciencias en América Latina... ¡y su enseñanza!

José Antonio Chamizo.

Facultad de Química

Universidad Nacional Autónoma de México

Índice

- 1. Antecedentes*
- 2. Introducción. Sobre el reconocimiento de la ortodoxia científica.*
- 3. Periodo prehispánico*
- 4 . Periodo colonial*
- 5. Periodo independiente*
- 6. Sobre la enseñanza de la historia de las ciencias*
- 7. Conclusiones*
- Lista de referencias bibliográficas*

A partir del momento en que todos los hombres leen lo mismo en los mismos diarios; ven de un rincón a otro del mundo las mismas películas; oyen simultáneamente las mismas informaciones; las mismas sugerencias e idéntica música a través de la radio, la personalidad íntima de cada uno, el propio ser, la libre elección dejan de contar absolutamente. Se produce un notable esfuerzo de salvaguardia, el individuo no puede impedir su destrucción

Charles de Gaulle

1. Antecedentes

La historia de las ciencias es una historia llena de luchas, denuncias y vueltas a empezar. De errores que generaron verdades, de pruebas que dejaron de serlo, de esperanzas y de frustraciones. Ha sido y es una acumulación razonada y crítica de saberes, que en sus intentos de conocer mejor el ambiente que rodeaba a las comunidades humanas pareció como un ataque contra lo que era el sentido común de la época. La historia de las ciencias se desarrolló como una larga lucha contra el principio de autoridad, autoridad civil y religiosa que de alguna manera se opuso a esta nueva forma de ver el mundo, para justificar la estructura social de la época. Hoy las ciencias y las tecnologías son, querámoslo o no, parte de esa estructura social y con ello también de nuestra cultura.

Con el desarrollo de las ciencias y las tecnologías aumenta el conocimiento que se tiene del mundo, y consecuentemente la capacidad para intervenir en él. Esto ha hecho que particularmente en los últimos 100 años buena parte de las costumbres sociales asociadas a la moral, que nos permitían vivir en sociedad, se volvieran obsoletas. Y en ese ir y venir, del pasado al presente, se mece una buena parte de la cultura latinoamericana.

A finales del siglo XIX, el cubano José Martí escribió en Nueva York *La edad de oro*, (citado en Portuondo, 1990) un libro acerca de la tarea de formar un hombre nuevo en América Latina. Allí se recoge una carta que le envió a un profesor mexicano:

Verá por la circular que lleva pensamiento hondo y ya que me la echo a cuestras, que no es poco peso, ha de ser para que ayude a lo que quisiera yo ayudar; que es a llenar nuestras tierras de hombres originales, criados para ser felices en la tierra en que viven, y vivir conforme a ella, sin divorciarse de ella, ni vivir infecundamente en ella, como ciudadanos retóricos, o extranjeros desdeñosos nacidos por castigo en esta parte otra del mundo. El abono se puede traer de otras partes; pero el cultivo se ha de hacer conforme al suelo. A nuestros niños los hemos de criar para niños de su tiempo, y hombres de América. Si no hubiera tenido a mis ojos esta dignidad, yo no habría entrado en esta empresa.

En este principio del siglo XXI el hombre (y la mujer) nuevo (a) de América Latina, parecen estar destinados más a lo que indica de Gaulle que a lo que defiende Martí. Hay que recordar que el término 'herejía' sugiere una afirmación contraria a principios comúnmente aceptados. Herejía significa elección, opción. Cuando hay una fuerte adhesión por parte de las sociedades humanas a ciertos saberes generales, y por tanto culturales, se habla de 'ortodoxia'. No hay herejía si no hay ortodoxia; es en su enfrentamiento donde se reconocen y caracterizan. Como lo indica de Gaulle, la globalización y la uniformidad, tanto de los mercados como del pensamiento, es la ortodoxia. Aquí documentaré la herejía, parcialmente de que otra manera, sobre muchos de los hilos conductores que tejen nuestra historia, que también lo es de las ciencias y las tecnologías. El relato considera como un punto de inflexión la instauración, desde los lejanos años 70's en la ciudad de Puebla, de la Sociedad Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología, acompañada por la publicación de la revista *Quipu*.

Una herética revisión sobre la historia de las ciencias y la tecnología (Toulmin, 1972; Basalla 1991; Pickstone, 2000, 2011) indica que ésta no se refiere únicamente a una serie de sucesiones, o de reemplazos de una clase de conocimiento por otra; es más una cuestión de acumulación compleja y de variedad simultánea, disputada en un cierto plazo. Pickstone reconoce tres grandes tipos de formas de conocer, que pudiendo coexistir al mismo tiempo cuando una de ellas prevalece caracteriza un determinado periodo. Estas son:

- *La historia natural* que se refiere a una primera clasificación de los componentes del mundo. Comprende la variedad de objetos naturales o artificiales, normales o patológicos. Es el espacio de las taxonomías: celestes, geológicas o biológicas y del lugar donde se vuelven públicas, los jardines botánicos, los zoológicos y los grandes museos de ciencias.
- *El análisis*. Si la variedad y el cambio son identificados por la historia natural, el análisis busca el orden por disección. El análisis aparece cuando los objetos se pueden ver como compuestos de 'elementos', o cuando los procesos se pueden ver como el 'flujo' de un 'elemento' a través de un sistema. Es el espacio de los laboratorios de anatomía, química, física e ingeniería y del lugar donde se vuelven públicos, las escuelas, institutos, politécnicos, hospitales y universidades.
- *La experimentación*. Si el análisis considera el separar cosas, la experimentación es sobre cómo ponerlas juntas. El análisis especifica la composición de lo 'conocido' para posteriormente, poniendo juntos los 'elementos', crear nuevos objetos o fenómenos. La experimentación se basa en la síntesis, en la producción sistemática de la novedad. Es el espacio 'privado' del control, ya sea por motivos militares o económicos, de los laboratorios de biomedicina y farmacia, de diseño de nuevos materiales o de física nuclear, así como del lugar donde se vuelven públicos, el complejo tecnocientífico industrial.

De acuerdo con Pickstone ya no se puede hablar de ciencias y tecnologías de forma separada, es decir la tecnociencia se refiere al conocimiento que se utiliza con fines prácticos, desde las armas, pasando por los alimentos, las prendas de vestir, los artefactos para comunicarse, hasta los medicamentos. Cuando a partir de los intereses políticos o económicos de los estados se realizaron exploraciones y clasificaciones se tiene tecnociencia con una forma predominante de conocer histórico-natural. Muchas culturas han sobresalido en este terreno, desde los chinos hasta los aztecas. Cuando estos intereses se concentran en el establecimiento de disciplinas analíticas a través de las cuales entender el mundo, la forma de conocer se centra en el análisis. La Francia revolucionaria o la Inglaterra de principios del siglo XIX son sus mejores exponentes. Finalmente cuando las tres formas de conocer se presentan de manera simultánea nos encontramos con la tecnociencia actual, desarrollada principalmente a partir del siglo XIX y XX alrededor de la industria eléctrica y la químico-farmacéutica (Chamizo, 2013).

En este capítulo a veces contado en la voz de los protagonistas, transcribiré de diferentes fuentes, hechos, descubrimientos, y momentos relevantes de la historia de las ciencias en América Latina. Todos ellos centrados en tres grandes períodos que buscan contrastarse contra los tres grandes tipos de conocimiento anteriormente mencionados. Antes hay que aclarar que la periodización de la historia de las civilizaciones humanas en historia antigua, medieval y moderna proviene del siglo XVI. Desde entonces, y probablemente también desde antes, para *dominar el tiempo y la historia y para satisfacer las propias aspiraciones a la felicidad y a la justicia o los temores frente al inquietante concatenarse de los acontecimientos* (Le Goff, 2001, p. 11), hemos buscado la forma de dividir los tiempos históricos. Hay muchas maneras de hacerlo, los parámetros pueden ser y son diferentes. En algunos casos se hace a partir generalmente de la aceptación de un acontecimiento singular o el cambio de maneras de pensar y/o actuar. Ese acontecimiento singular, en el caso de América Latina, es su descubrimiento (o invención como diría O' Gorman, 1958) por los navegantes europeos. Así una periodización muy aceptada nos dice que en lo que hoy reconocemos como nuestros países se paso del periodo prehispánico, que comprende las técnicas empíricas de lo que hoy llamamos ciencias; al colonial, comprendido desde principio del siglo XVI hasta los inicios del siglo XIX y enmarcado por las guerras de independencia, y la instalación de universidades y finalmente al independiente en el que las naciones construidas alrededor de las colonias intentan definir su propio destino, crean asociaciones y academias de ciencias e institucionalizan la actividad científica. Este periodo está entrelazado por las guerras civiles y en ocasiones entre los mismos países latinoamericanos. Finalmente se presentará una breve discusión sobre la importancia de la enseñanza de la historia, de la historia de las ciencias, la nuestra.

2. Introducción. Sobre el reconocimiento de la ortodoxia científica.

Bernardo A. Houssay el extraordinario fisiólogo argentino desarrolló a principios del siglo XX los estudios que condujeron a entender la diabetes y que le hicieron merecedor al Premio Nobel de Medicina en 1947. Su discípulo Luis Leloir, estudiante y profesor de la Universidad de Buenos Aires, obtuvo en 1970 el premio Nobel por sus estudios sobre el metabolismo de los azúcares y Mario Molina, estudiante de la Universidad Nacional Autónoma de México y profesor del MIT en Estados Unidos lo logra en 1995 por sus investigaciones sobre el agujero en la capa de ozono. De todas las universidades latinoamericanas sólo alumnos de las de Argentina y México se han hecho acreedoras de este galardón en las ciencias. A pesar de estos reconocimientos que muestran más aciertos personales, que proyectos institucionales, la historia de la ciencia en América Latina está marcada, como aquí veremos, por la inconsistencia. Así hace más de veinte años apareció publicado el primer estudio sobre la investigación científica en nuestra región a partir de las citas y referencias en revistas internacionales (Science Citation Index, SCI). A pesar de ser ésta una manera parcial de abordar el impacto de la ciencia regional (Cetto, 1995) debido fundamentalmente al sesgo tanto temático como de idioma, permite detectar algunos de los asuntos relevantes de la misma (Garfield, 1984).

Los resultados obtenidos en aquel entonces, centrados en cuatro rubros indicaron:

- *Impacto.* En promedio, los artículos publicados por investigadores latinoamericanos recibieron tres citas de 1978 a 1982 contra un promedio de cinco para cada artículo en el SCI.
- *Lugar.* Con respecto al origen de los artículos, el 92% de los artículos investigados provenían de Argentina, Brasil, Chile, México, y Venezuela. De acuerdo a lo anterior se podría pensar que ningún otro país latinoamericano “produce” ciencia.
- *Aislamiento.* Las citas de los artículos latinoamericanos refieren a otros artículos norteamericanos, europeos asiáticos y a los de su propio país. Los argentinos citan trabajos argentinos, los venezolanos, venezolanos. Con respecto a los otros países latinoamericanos existe un olvido, que se traduce en un inequívoco aislamiento.
- *Diversidad.* La mayoría de los artículos se centran en ciencias de la vida, (biología) mientras que la física y la química tienen escasa presencia.

Considerando los incisos anteriores la ciencia latinoamericana aparecía a los ortodoxos ojos de sus pares internacionales como de bajo impacto, concentrada en unos pocos países, incomunicada entre sí y abocada sobre todo a resolver asuntos relacionados con las ciencias de la vida. El historiador de las ciencias mexicano E. Trabulsi (1985) aclara el punto cuando reflexiona sobre las razones por las cuales las ciencias, tal y como las conocemos se desarrollaron en Europa:

La explicación de este complejo fenómeno histórico radica en el hecho de que, en los siglos XVI y XVII, Europa sufrió una serie de cambios, interconectados entre sí, que permitieron tanto una revolución conceptual como un acusado desarrollo de las fuerzas productivas. La riqueza adquirida y acumulada por ese continente como una gran fuerza colonialista y como árbitro comercial, funcionó como agente catalizador de dichas fuerzas de producción. Esto trajo consigo una nueva visión del mundo en la cual la perspectiva eurocéntrica iba a prevalecer paulatinamente hasta el punto de modificar inclusive las ideas sobre la naturaleza de las demás sociedades (Trabulsi, 1985)

A lo que el investigador argentino M. Cerejido abunda (1994):

...los investigadores latinoamericanos publican sus artículos en las mejores revistas del mundo, figuran en los planteles de Harvard y Cornell, de Cambridge y del Max Plank, y logran todo tipo de distinciones, incluido el famoso Premio Nobel. Para equipararse, nuestros industriales deberían fabricar coches, aviones, fotocopiadoras y cámaras fotográficas de calidad tal que pudieran competir en el mercado internacional con los Mercedes-Benz, Boeing, Xerox y Nikon. ...uno de nuestros dramas es no tener la ciencia que necesitamos; pero, otro, no menos grave, consiste en tener una ideología y una estructura poco propicias para desarrollarla [...] hay una fractura fundamental entre nuestros esforzados y meritorios investigadores y nuestro aparato productivo. (Cerejido, 1994)

3. Periodo prehispánico

La historia ha seguido cursos diferentes en las diferentes sociedades humanas, no porque unas sean biológicamente mejores que otras, sino porque los medios donde han evolucionado han sido desiguales. La historia de lo que hoy es nuestra región responde, de alguna manera, a su situación geográfica, a su diversidad ecológica, a la dificultad o facilidad que enfrenta para intercambiar productos y costumbres con nuestros vecinos, a su visión religiosa (Diamond, 1998).

Hace cerca de 5 000 años, en Mesoamérica se había domesticado el maíz y el frijol además del guajolote con lo que la base alimentaria era completa -si bien aún se debate sobre la ingesta proteínica derivada de productos animales-. No había sin embargo animales grandes que resultara posible comer y que arrastraran carros con ruedas. Las únicas ruedas inventadas en nuestro continente se usaban exclusivamente en los juguetes mexicanos. Por otro lado, la llama y la alpaca, los mayores mamíferos americanos útiles para jalar carros sólo se conocían en la zona andina, en donde se registró también la domesticación inicial de la papa. Las dos grandes zonas culturales de nuestro continente, la andina y la mesoamericana crecieron y prácticamente desaparecieron separadas. En otros lugares del planeta, en particular lo concerniente a la domesticación de plantas y animales, la invención y el uso de la rueda, la metalurgia, la lengua escrita, y la producción de la pólvora, -es decir los inventos-, se comunicaron de un lugar a otro con relativa facilidad, en virtud de lo cual los bienes culturales de las sociedades humanas asentadas en aquellos crecieron y se diversificaron más rápidamente que en las americanas.

En las dos grandes zonas culturales de América se desarrollaron empíricamente una gran diversidad de productos, muchos de ellos soluciones a las exigencias cotidianas de la vida en el momento. Hasta donde sabemos estas culturas, dominadas por la religión, no se dieron a la tarea de interpretar el mundo, no construyeron modelos, ni teorías, no hicieron predicciones. Por eso no se puede hablar propiamente de una ortodoxa ciencia prehispánica (Chalmers, 1983), pero si de una forma de conocer 'histórico-natural' Sin embargo como en el caso de la alquimia, el conocimiento empírico era enorme. Además de todo lo relacionado con la tecnología agrícola (Rojas, 1996), con los quipus y las técnicas para embalsamar, desarrolladas estas últimas en la zona andina en donde las momias de los incas estaban en el Cuzco guardadas en sus respectivos palacios, baste con mencionar:

- En América se conocieron siete metales, entre los cuales sobresale el oro por su importancia. Además, se practicaban, entre otras, las técnicas de reducción de minerales, de aleación y de fundición. Entre los incas Francisco López de Jerez, compañero de Francisco Pizarro relata (Del Busto, 1970):

La plata sacan en la sierra con poco trabajo, que un indio saca en un día cinco o seis marcos...la cual sacan envuelta en plomo, estaño y piedra azufre y después la apuran y para sacarla pegan fuego a la sierra; y como se enciende la piedra azufre cae la plata en pedazos. (Del Busto, 1970)

- En las selvas de América Central y hace poco mas de 2 000 años los mayas fueron la primera sociedad humana en concebir la abstracción del cero, adelantándose alrededor de 600 años a las culturas de la India en este descubrimiento (Magaña, 1990). Sus logros astronómicos fueron también muy importantes, destacando la duración del año en días, el que correspondía al calendario gregoriano utilizado por los españoles a su llegada a nuestro continente de 365.250 días, el calendario civil actual de 365.243 días, el determinado por la astronomía moderna de 365.242 y el de la antigua astronomía maya de 365.240. Asimismo determinaron el periodo lunar con tan sólo 24 segundos de diferencia con respecto al medido con la tecnología de hoy y lograron un calendario muy preciso sobre las apariciones de Venus que es válido para los próximos cuatrocientos años.
- La grana cochinilla, junto con el tinte del 'caracol púrpura' y el índigo o añil, son los tres colorantes más importantes provenientes de mesoamérica. La grana cochinilla fue durante la Colonia el segundo producto de exportación de la Nueva España y hasta 1954, la guardia real inglesa la empleó para teñir sus uniformes (Chamizo, 2003). Por otro lado que decir del árbol brasil, de donde se extrajo el rojo encendido colorante que le dió nombre a todo un país.
- Sobre la medicina, la salud y la enfermedad hay muy diversas informaciones. Durante el reinado del emperador azteca Moctezuma Ilhuicamina de 1440 a 1469, se creó el primer jardín medicinal (y botánico) de América, siglos antes que se concibiera en Europa una idea semejante (Lozoya, 1998). En este sentido señala Estrella (1995)

Consecuentemente con la visión holística de la enfermedad, el tratamiento era totalizador y concentraba en una unidad de acto elementos mágicos, religiosos, empírico-rationales y psicológicos. La cultura de la comunidad considerada como una categoría histórica ocupaba también un lugar en el proceso, ya que el hombre aborigen tenía su forma de sentirse enfermo. Si se presentaba la enfermedad, ya sabía cómo enfrentarla; en primer lugar la aceptaba como parte de la existencia, y después confiaba en que el médico le atendería, y si finalmente no lograba su recuperación, aceptaba su destino...la medicina aborigen americana, fue apropiándose poco a poco de una parte del mundo objetivo que a través de la experiencia demostraba ser manipulable por la repetición o permanencia de sus efectos. Así se fue organizando un conocimiento empírico sobre las cualidades curativas de las plantas y de algunos productos de origen animal y mineral. Por la experiencia, se adquirió una relativa información sobre la anatomía, sobre las formas de reacción del organismo y se fue elaborando una técnica de diagnóstico y tratamiento. El médico aborigen fue el depositario de este saber..."(Estrella, 1996).

Por ejemplo respecto a la odontología el uso de la coca era muy importante una vez que por las sustancias alcalinas que se añadían a las hojas para la extracción del alcaloide durante la masticación, se favorecía la higiene de la dentadura, ya que aparte de actuar físicamente en la limpieza por el constante movimiento del bolo, la condición alcalina de la sustancia inhibía la acción bacteriana. El cronista Ordóñez de Cevallos hizo esta observación entre los indígenas de Pimampiro en el norte del actual Ecuador (Estrella, 1995):

Esta es una tierra muy rica porque tiene infinidad de cicales[...] que los indios comen[...] y para el trabajo les ayuda, y sin esa coca no trabajarían; con solo mascarla y tenerla en la boca les sustenta, [y] conserva la dentadura, de manera que aunque sean muy viejos jamás les falta. (Estrella, 1995)

- El látex (como se conoce la suspensión coloidal de las partículas de hule en agua y que en náhuatl se llamaba ullacuitli) se extraía principalmente del arbusto conocido como guayule y del árbol ulli (en náhuatl, que originará la voz castellana hule), presentes en México, Perú y Brasil. López de Gómara, compañero de Hernán Cortés, hizo la primera descripción del hule (Chamizo, 2003):

"[...] la pelota la llaman ullahualiztli, la cual se hace de la goma del ulli, que es un árbol que se cría en tierras calientes y que al punzarle llora unas gotas gruesas y muy blancas, que se cuajan muy pronto. A diversos historiadores les llama la atención el rebote tan alto y tan fácil de esas pelotas; alguno que las vio por primera vez en una recepción ceremonial refirió que ciertas danzarinas llevaban en las manos unas bolas negras que, al dejarlas caer, volvían a elevarse como por arte de magia. La mayor parte del hule se consumía en objetos y actos religiosos. (Chamizo, 2003)

4. Periodo colonial

La 'historia natural americana', es desde Europa un proyecto inequívocamente colonial. Conocer e identificar las riquezas del continente para enriquecer a las diferentes metrópolis. Desde la Historia Natural de las cosas de la Nueva España de Fray Bernardino de Sahagún a mediados del siglo XVI, o el primer libro científico escrito en Cuba el Arte de Navegar de Lázaro Flores en 1673, a la expedición Malaspina a finales del siglo XVIII, se busca servir a los intereses europeos. En este periodo histórico aparecen sin embargo ya indicios de la forma de conocer analítica, particularmente con el establecimiento de las universidades.

La explotación de los metales preciosos en el periodo colonial español en América es el hilo conductor de la historia de la ciencia en el continente. A partir del siglo XVI y especialmente en el XVII y XVIII el análisis se refiere principalmente a lo relacionado con la metalurgia y a la mineralogía en todos sus procesos. Con el tino que lo caracterizó y que le permitió reconocer América, recorriéndola, Alexander von Humboldt caracterizó la empresa colonial (citado en Vilchis, 1992):

Las montañas del nuevo continente, como las del antiguo, contienen hierro, cobre, plomo y otras muchas sustancias mineras indispensables para las necesidades de la agricultura y de las artes. Si en América ha dirigido el hombre su trabajo casi exclusivamente hacia la extracción del oro y de la plata, ha sido porque los miembros de una sociedad obran por consideraciones distintas de las que deben dirigir a la sociedad entera. (Vilchis, 1992).

En el siglo XVI se crean las primeras universidades latinoamericanas, muy ligadas a la iglesia católica; la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, la Decana de América, fundada el 12 de Mayo de 1551, es, a pesar de las controversias que todavía se dan al respecto, con la que inicia la historia universitaria del continente. El siguiente párrafo da buena cuenta de las formas y preocupaciones de la época:

La Universidad inició funciones el 2 de enero de 1553 en la sala Capitular del Convento del Rosario de la Orden de los Dominicos, con la concurrencia de la Real Audiencia presidida por el licenciado Andrés Cianca y el enviado de la Corona D. Cosme Carrillo, primer miembro laico del cuerpo docente. Durante la época virreinal las Facultades fueron cinco... en el siglo XX fueron organizadas cinco nuevas Facultades, cuatro en el área de Ciencias: Farmacia y Bioquímica, Odontología, Medicina Veterinaria, Química y una en el área de humanidades: Educación. La de Teología adquirió un régimen distinto en 1935 y dejó de formar parte de San Marcos. En consecuencia, en 1969 sólo existían tres Facultades que procedían de la época colonial: Letras y Ciencias Humanas (ex Facultad de Artes), Derecho (Leyes y Cánones) y Medicina. La Universidad Nacional Mayor de San Marcos es la única de América que presenta una continuidad ininterrumpida. Desde su inicio con el rector Fray Juan Bautista de la Roca hasta nuestros días, han guiado su destino 210 rectores.

La manera analítica de conocimiento ligada a la empresa colonial tiene uno de sus primeros grandes descubrimientos con el aislamiento del platino, proveniente de diversos lugares de América Latina desde mediados del siglo XVIII (Osorio, 1990). Por otro lado a diferencia del oro, la plata viene acompañada de otros elementos, por lo que para obtenerla pura hay que realizar diversos procedimientos químicos, y entre éstos la fundición históricamente ha sido uno de los más usados, hasta que en 1553 el sevillano Bartolomé de Medina, establecido en Pachuca, pequeña ciudad minera de la Nueva España, inventó el proceso de beneficio (es decir la purificación) de patio. Este proceso, que emplea mercurio para la amalgamación, permaneció en uso sin alteraciones mayores por cerca de tres siglos, caso único en la historia. Por ello el historiador de las ciencias español Modesto Bargalló (1966) indicó:

El procedimiento de beneficio de la plata inventado por Bartolomé de Medina es el mejor legado de Hispanoamérica a la metalurgia universal. Bargalló (1966).

Hasta 1563, Medina recibió regalías por más de 10 800 pesos de oro de los usuarios de su invento, que para entonces ya se encontraban en Taxco, Zacatecas y Guanajuato, por citar sólo algunas áreas mineras. A la usanza de la época, las regalías eran establecidas por el virrey de acuerdo con la capacidad económica del minero, la cual se medía en función del número de esclavos negros que tenía; la regalía mínima para pagar al inventor era de 60 pesos. La gran suma de dinero que recibió Medina revela claramente la gran aceptación y el extendido uso que se dispuso a su invento.

Paralelo al estudio de la minería pero con ambiciones diferentes la construcción de nuevas ciudades en entornos (para los arquitectos e ingenieros europeos) completamente diferentes propició el desarrollo de nuevas habilidades tecnológicas. Además del caso de la ciudad de México, una isla al momento de la conquista española, un magnífico ejemplo es el de Lima cuando a partir de 1606 se tienen que abordar asuntos relacionados con las minas de azogue sobre las que se encuentra la ciudad, su defensa militar y la presencia de terremotos. Así Sala (1988), al identificar las aportaciones locales y el impacto inmediato, avanza lo que parece ser el inicio de procesos tecnocientíficos:

La actuación conjunta de los artífices locales para solucionar tan compleja problemática es la realidad desde la que va a emerger el movimiento local de profesionalización e institucionalización de la ciencia. Sala (1988).

La estructura económica, política y social de la colonias españolas experimentó un importante cambio cuando en 1760 el nuevo rey español Carlos III propuso una serie de medidas conocidas como Reformas Borbónicas dirigidas principalmente a modernizar el reino, lo cual significaba reorganizar la administración de la real hacienda, el ejército y los sistemas de gobierno. Así se concibió el último proyecto ilustrado dirigido a la conquista intelectual del Nuevo Mundo. Una expedición, en cuyo horizonte estuvieron presentes los viajes anteriores de Cook. Su director Alessandro Malaspina representa el prototipo de hombre ilustrado, tipología que supo transmitir a una empresa que era simultáneamente un proyecto político y científico, donde ya coexistían dos formas de conocer la histórico-natural y la analítica. Así en la expedición Malaspina a diferencia de varias anteriores como la de Celestino Mutis en Nueva Granada y la de Hipólito Ruiz y José Pavón en Perú no sólo se consideró la botánica, o la agricultura, sino también la zoología, la física y la geología. De 1789 a 1794 y de acuerdo a la geografía actual pasando por Uruguay, Argentina, Chile, Ecuador, Perú, Panamá y México, llegaron hasta Alaska, las Filipinas y Australia cartografiando prácticamente la mayoría de Latinoamérica (Galera, 1995). A su regreso a España no contando ya con el aprecio de sus originales benefactores los resultados de esta expedición quedaron olvidados.

América Latina era y es un mosaico multicolor en el que algunos lugares se desarrollan mucho y pronto (para la época) y otros permanecen estancados y aislados. Los contrastes son notables como veremos a continuación entre los hoy tres principales protagonistas de la región, Argentina, Brasil y México.

Al asumir el trono Carlos III se rodeó de un grupo de 'ilustrados' que compartían las ideas que años más tarde cristalizarían en la Revolución Francesa y que reducían el poder eclesiástico en la toma de decisiones del reino y de colonias. Resultado de estas reformas fue la creación de instituciones educativas que, con un 'carácter moderno' promovieran la formación de personas capacitadas técnicamente en los diversos oficios y profesiones que el momento exigía. El más importante ejemplo de lo anterior fue el Real Seminario de Minería en la Nueva España. Fausto de Elhúyar, su fundador y director por 33 años, era un reconocido químico por su descubrimiento del elemento wolframio. A Elhúyar le cabe el honor de ser quien impartió la primera clase de química, no sólo de la Nueva España, sino también del continente americano en 1797 aunque la cátedra se había inaugurado en 1792. En sus lecciones utilizó el *Tratado Elemental de Química* de Lavoisier traducido al español en el Real Seminario de Minería y es necesario resaltar que esta traducción fue anterior a la que de la misma obra se realizó en España. Como era costumbre, al terminar el curso se hizo un examen público a los cuatro alumnos que lo habían llevado y quedó consignado (Díaz, 1998):

Con arreglo a la nueva teoría de Mr. Lavoisier, adoptada por los principales químicos del día y cimentados sobre las pruebas analíticas y sintéticas más rigurosas y convincentes, para lo cual condujeron a aquella pieza los aparatos propios para quemar el carbón, fósforo, espíritu del vino, descomposición del agua y otros propios del objeto de tal día. (Díaz, 1998)

También en el Real Seminario de Minería uno de sus profesores, Andrés Manuel Del Río, profesor también del Real Seminario de Minería descubrió en 1801 un nuevo elemento químico, el primero hallado y caracterizado en América llamado eritronio (del griego eritros que significa rojo). La comunidad científica europea tardó tanto tiempo en reconocer que en el eritronio era un nuevo elemento, además de otros muchos problemas que surgieron en el camino hicieron que el descubrimiento de Del Río se olvidará. Así en 1830 el sueco Sefström anunció la presencia de un nuevo elemento encontrado en minerales de hierro al que llamo vanadio, Del Río indicó que era el mismo elemento que él había descubierto y al que había llamado eritronio. El químico más importante de ese momento Jöns Jacob Berzelius comprobó en 1831 que ambos elementos eran en realidad el mismo con lo que se validó el descubrimiento de Del Río efectuado 30 años antes, aunque el nombre de vanadio es el que permaneció.

Según Mendoza (1995):

Durante la época colonial no hubo en Argentina estudios académicos, cultivo e investigación ni ejercicio profesional de la química moderna. La única universidad que funcionó en esa época, la de Córdoba, centraba sus intereses en la teología, casi a finales del XVIII incorporó la cátedra de derecho y naturalmente dictaba el trienio filosófico (....) Igual situación se dio en el Colegio Carolingio de Buenos Aires, antecesor de la Unión del Sur y de la Universidad de Buenos Aires (Mendoza, 1995).

En el período colonial, Brasil fue casi siempre tratado de manera mezquina y miope por la administración metropolitana. La economía brasileña hasta el siglo XVIII dependía de la extracción de minerales y del colorante del árbol brasil y es sólo hasta ese momento cuando llegó el auge de la explotación de la caña de azúcar con su secuela de procesos químicos, muchos traídos del exterior. La situación periférica de Portugal dentro del concierto europeo en ese mismo periodo jamás permitió que el país tuviese siquiera una universidad. Sin embargo desde el siglo XVI hasta su expulsión en 1759, los jesuitas habían mantenido en Brasil varias instituciones de enseñanza que funcionaban como verdaderas universidades aunque no de derecho. En el propio Río de Janeiro, transformado en capital del Brasil desde 1763, se fundará en 1772 la Academia Científica, primera agremiación dedicada a las ciencias, instituida en el país y anterior, en varios años, a la Academia de Lisboa.

El desarrollo de la ciencia aquí puede entenderse claramente de acuerdo a la secuencia establecida por Pickstone: la tradición naturalista en la que se dan los primeros viajes de exploración por el Amazonas (Viagem filosófica de Alexandre Rodrigues Ferreira 1785-1792), el establecimiento en Rio de Janeiro del Horto Real en 1808 y del Museo de Historia Natural en 1818 (Dantes, 1988).

5. Período independiente

En una secuencia ni exhaustiva ni cronológica, en esta parte se reseñarán cómo se produjeron, en el periodo independiente de los países de América Latina, los cambios desde principios del siglo XIX hasta la actualidad y los caminos que dieron lugar principalmente al establecimiento de universidades e industrias. Según Mendoza (1995):

En 1821 el Estado de Buenos Aires estaba en condiciones de crear su propia universidad, con deseos de modernidad y de superioridad, frente a las aulas existentes en el de Córdoba. La joven universidad lleva a cabo las dos únicas experiencias académicas como intentos concretos de adecuarse al nivel científico europeo: los estudios de matemáticas y los de ciencias experimentales (física y química) (Mendoza, 1995).

En un amplio recuento sobre el desarrollo de la física en la región Magaña (2002) indica:

Es en la segunda mitad del siglo XIX cuando empiezan a surgir los primeros esfuerzos institucionales, a nivel gubernamental, por fomentar el estudio de las ciencias en general. Sin embargo, las primeras licenciaturas en física, surgen hasta muy entrado el siglo XX, hacia el final del primer tercio del mismo. Cabe señalar que la enseñanza de la física a nivel universitario, como una licenciatura autónoma, no nace en nuestros países como una demanda de la sociedad porque la considerara una necesidad para apoyar la actividad industrial. Nace, más bien, por iniciativas personales de hombres que consideraban que nuestros países no debían permanecer, por más tiempo, al margen de la generación y dominio de los conocimientos en física, que han cambiado profundamente la concepción que el hombre tiene sobre el universo y sobre sí mismo y cuya aplicación tanta influencia ha tenido en la manera de vivir de la especie humana. Hay que mencionar que todo lo anterior ocurre a pesar de que algunas universidades de la región Latino Americana nacen desde mediados del siglo XVI a partir de las mejores universidades españolas que, en aquel tiempo, también se encontraban entre las mejores de Europa. Sin embargo, estas universidades de las colonias españolas permanecen cerradas (salvo en muy contados casos y ocasiones) a todo pensamiento distinto al escolasticismo católico y en general, rechazan las ideas traídas por el Racionalismo y la Ilustración, como un reflejo de una actitud muy común en la España de la época. Todas estas circunstancias históricas, con su inevitable influencia en las sociedades latinoamericanas y su inevitable inercia, han llevado de manera clara hasta nuestros días a un escaso apoyo de la iniciativa privada, esto es de las empresas, hacia la actividad de investigación científica en general y de la investigación en física en particular. Este hecho limita muy seriamente el desarrollo y arraigo de la investigación en física y su vinculación con la sociedad en cuyo seno se desenvuelve. Magaña (2002).

En cuanto a la salud y la medicina hay que aclarar que en las colonias este era un asunto privado, y que las personas debían procurarse por sí mismas. Los gobiernos sólo debían asegurarse que la práctica médica fuera realizada por personas competentes (que estudiaban en las universidades establecidas en los grandes centros urbanos la medicina clásica). Según Quevedo (1996):

La construcción de estados nacionales en América Latina después de los procesos de independencia, no se tradujo inequívocamente en el fortalecimiento de las comunidades científicas y en la formación de una "ciencia nacional"...las nuevas condiciones sometieron a los médicos latinoamericanos a una doble tensión. Por un lado sus clientelas, en general, ya no eran las más bien sólidas elites metropolitanas y criollas, sino sectores sociales relativamente indefinidos y en un periodo telúrico de recomposición permanente, lo que se traducía en una gravísima inestabilidad institucional y política, sumada a la debilidad económica de los nuevos estados para apoyar a las instituciones científicas...por otro lado, se mantuvo vigente el efecto paradójico de larga duración que percibimos ya en el siglo XVIII: en la medida en que son más fuertes y avanzadas las tradiciones del periodo anterior, más difícil resulta la introducción de los paradigmas innovativos (Quevedo, 1996).

Este tránsito de la medicina colonial a la anatomoclínica (basada en la actitud clínica de la observación, descripción y clasificación sistemática de los síntomas y su

relación con las lesiones de los órganos) puede ser caracterizado por la incorporación de la forma de conocer analítica a la histórico-natural: se establecen nuevas facultades y escuelas de medicina, se inicia una política sanitaria y la investigación en las áreas de la salud.

A lo largo del turbulento siglo XIX varios latinoamericanos, que estudiaron en Europa realizaron aportaciones significativas al conocimiento científico a través de publicaciones especializadas. Baste con mencionar a uno de ellos y con quién se puede ejemplificar el sentir de sus perisféricos colegas. El venezolano Vicente Marcano entre 1870 a 1890 contribuyó de manera importante al entendimiento del proceso de fermentación. Es digno de mención que sus más importantes aportes al conocimiento, fueron realizados en Venezuela, en un pequeño laboratorio equipado con material que él mismo compró en París y que trajo a Venezuela en su viaje de vuelta en 1869. Según nos dice:

“Pensamos, que como suele ocurrir con jóvenes entusiastas de la ciencia que se forman en países desarrollados, quizá Marcano soñó con la posibilidad de crear en Caracas un Centro de Investigaciones y Enseñanza al estilo de los que había tenido la oportunidad de conocer en Europa; de agrupar a su alrededor profesionales y estudiantes y entusiasmarlos, como él lo estaba, por esa ciencia vieja que se estaba remozando con el advenimiento de la Teoría Atómica y con la creciente capacidad del hombre de sintetizar en el laboratorio sustancias que parecían del dominio exclusivo de la fuerza vital. Empero como lo reseña su hermano Gaspar, en Caracas no logró contagiar ni transmitir su entusiasmo y sus conocimientos [...] y se percató que el ambiente intelectual de la Venezuela de la época, salvo contadas excepciones, era prácticamente refractario a la actividad científica e ignorante de su verdadera importancia. Pero afortunadamente la labor científica de Marcano en Venezuela fue siempre alentada y apreciada por sus colegas y maestros franceses (Bifano, 1990).

La experiencia de Marcano es ejemplar. A él, como a del Río años antes, la aceptación de su actividad (y esta es una de las características de la ciencia) era fundamental. Sin embargo sin una comunidad intelectual que los entendiera y acompañara, sin bibliotecas, ni infraestructura material para realizar su trabajo de investigación, la percepción de su aislamiento es notable. El colombiano Caldas así lo expresaba a finales del siglo XIX (citado en Vessuri 1995):

¡qué dudas, que suerte tan triste la de un americano! Después de muchos trabajos, si llega a encontrar alguna cosa nueva, lo más que puede decir es: no está en mis libros ¿Podrá algún pueblo de la Tierra llegar a ser sabio sin una acelerada comunicación con la culta Europa? ¡Que tinieblas las que nos rodean!

Para darse una idea de la capacidad industrial latinoamericana a principios del siglo XX, cuando la tecnociencia en Europa es ya importantísima, además de lo relacionado con la exportación de metales, la gran herencia colonial, el relato recogido por Osorio en Colombia nos dice (1990):

Los grandes comerciantes abastecían de artículos de lujo a las altas clases sociales y los artesanos fabricaban los artículos para las clases bajas. Esto se reflejó en las luchas entre artesanos y comerciantes, que tuvieron particular agudeza frente a la política del proteccionismo, en el golpe de estado del General José María Melo y en la elección del presidente José Hilario López (...) hechos de tanta trascendencia en nuestra historia.

En 1916 funcionaban en Antioquia cuatro fábricas de relativa capacidad y algunas otras de tamaño reducido, dos fábricas de fósforos, una empresa elaboradora de cigarros en gran escala, chocolatería, fábricas de gaseosas, de jabones, ferreterías y fundiciones, una vidriería y una cervecería.

Con ligeras diferencias la situación de México es semejante. A principios del siglo XX el 80% de la población del país era analfabeta y la incipiente industria nacional se reducía a la producción minera, azucarera, textil, de bebidas alcohólicas y, en menor medida, farmacéutica. Es en 1917 recién creada la Escuela de Química, que se incorpora a la Universidad Nacional y en 1965 se transforma en Facultad de Química al crearse la División de Estudios Superiores y hacerse cargo de los estudios de doctorado que antes dependían de la Escuela de Graduados de la UNAM y se impartían en el Instituto de Química. Uno de sus más distinguidos alumnos es el ganador del premio Nobel de Química en 1995 Mario Molina, por sus investigaciones, realizadas en los Estados Unidos, sobre el efecto de los fluorocarbonos en el adelgazamiento de la capa de ozono.

Syntex fue la primera, y hasta hoy única, empresa farmacéutica mexicana de nivel tecnológico internacional. En ella se concretan el éxito académico y comercial que alcanzó la producción de hormonas en México característico de la tecnociencia. En 1945, los precios de la progesterona habían disminuido de su nivel de 80 dólares por gramo, anterior a *Syntex*, a 18 dólares. Hacia 1959, los científicos de *Syntex* habían publicado más artículos sobre esteroides que cualquier otra institución académica o industrial del mundo. En sólo diez años, México, del que no constaba previamente ninguna contribución notable a la química básica, se había transformado en uno de los principales centros mundiales dedicados a una rama especializada de la química orgánica. Pocos años más tarde, se produjeron en México los primeros anticonceptivos orales; cinco años después, millones de mujeres de todo el mundo los estaban usando. Uno de los investigadores más destacados de ese momento, el químico austriaco C. Djerassi indicó (1996):

Aun así, nuestra síntesis de la cortisona a partir de la diosgenina colocó a México permanentemente en el mapa de la investigación de los esteroides. Fueron además los pedidos de la Upjohn, de toneladas de progesterona –cantidad que en esa época sólo podía reunirse a base de diosgenina– lo que lanzó a Syntex por el camino de convertirse en un gigante farmacéutico. El proceso fue acelerado por nuestra síntesis, meses después y también en la ciudad de México, del primer anticonceptivo oral. El telegrama de Reischstein de unos cuantos meses antes con la frases “no disminuye” se aplicaba a la cortisona pero no a nosotros. Estábamos locos de júbilo: ¡Que viva México!

Por otra parte, *Syntex*, por presión del gobierno de Estados Unidos, se vendió a una compañía de aquel país que luego se transformó en una corporación internacional. Hoy alcanza ventas anuales por más de mil millones de dólares. El centro de sus operaciones administrativas, de mercado y de investigación se ubicó en Palo Alto, California. En México continuó la fabricación de productos esteroideos intermedios, mientras que la de productos terminados se desplazó a Puerto Rico y las Bahamas. De esta compañía Fernando Walls ex Director del Instituto de Química de la UNAM dijo (citado en Chamizo, 2003):

En México, Syntex afrontó un viejo problema: los químicos graduados en las universidades no adquieren suficiente experiencia industrial si no hay mucha industria química, y no puede haber industria química si faltan químicos bien preparados.

El siglo XX estableció claras diferencias entre los países latinoamericanos. Por un lado las tradiciones educativas centradas en las universidades siguen derroteros diferentes y por otro lado Argentina, Uruguay, Costa Rica y en menor grado Chile se incorporan al mercado mundial como exportadores de materias primas e importadores de productos manufacturados. Es en Argentina donde se ejemplifica de mejor manera la ambición de una democracia liberal educada e igualitaria que permitiría a dos de sus nacionales hacerse merecedores de los mayores reconocimientos científicos.

Bernardo A. Houssay, llevó a cabo sus estudios superiores en la Escuela de Farmacia de la Universidad de Buenos Aires a principios del siglo XX donde se graduó a la temprana edad de 17 años. Posteriormente estudio Medicina especializándose en Fisiología y se graduó en 1911 a los veintitrés años con un reconocimiento académico por su tesis doctoral en la investigación sobre la glándula hipófisis. Su renombrada actividad le permitió ser el director fundador del Instituto de Fisiología de la Facultad de Medicina de Buenos Aires que rápidamente se convirtió en un centro de investigación científica de excelencia internacional, al tiempo que Argentina aparecía como una de las principales potencias económicas de todo el mundo. Ya desde 1918 Buenos Aires, la puerta al 'granero del mundo' era la segunda ciudad atlántica, después de Nueva York. Los trabajos de Houssay sobre la diabetes y la insulina le hicieron merecedor del Premio Nobel de Medicina y Fisiología, en 1947. Sobre el papel de este notabilísimo investigador en la historia de la ciencia argentina comenta Cerejido (2000):

En una Argentina que quería tener la mejor medicina posible, surge una persona excepcional como Houssay, cuyo trabajo ayudo a formar a generaciones de médicos que saben cómo funciona el cuerpo humano, no perturba la ideología imperante y además su Instituto de Fisiología no tiene realmente un costo económico muy significativo. Aquella medicina era en cierto modo un aparato científico-técnico-productivo en pequeña escala, porque lo que se aprendía en el nivel básico transformaba al médico y éste lo aplicaba en sus pacientes. En cambio hoy la Argentina tiene miles de investigadores que trabajan en casi todas las disciplinas, pesan en el presupuesto, y la sociedad no esta preparada para utilizarlos ni a ellos, ni a sus productos.

Luis Leloir nace en París, Francia, en 1906, de padres argentinos. Culminados sus estudios secundarios en Argentina, ingresa a la Universidad de Buenos Aires, donde se gradúa en Medicina en 1932, dedicándose a la gastroenterología durante dos años. Leloir abandona la práctica profesional de la medicina, para dedicarse a la investigación pura y se incorpora al equipo de investigadores del Instituto de Fisiología de la Facultad de Medicina de la Universidad de Buenos Aires, que dirigía el profesor Bernardo A. Houssay. Más tarde parte a Inglaterra, a trabajar al Biochemical Laboratory, de la Universidad de Cambridge, que dirigía el profesor Frederick Gowland Hopkins, ganador del Premio Nobel en 1929. A su regreso, en 1937, se reincorpora al Instituto de Fisiología, como ayudante de investigaciones hasta 1943. En 1941, Leloir inicia su carrera docente en la cátedra de Fisiología, cuyo titular era el profesor Houssay. A principios de 1948, el equipo de Leloir identifica los

azúcar-nucleótidos, descubrimiento que convirtió al laboratorio en un centro de investigación mundialmente reconocido y por el cual recibiría el Premio Nobel de Química en 1970.

La forma de conocer analítica que en Brasil se corresponde, a partir de 1845 con el auge de la producción de café y la transferencia del poder económico al sureste, coincide con la historia universitaria (Dantes, 1988). Así José Bonifacio de Andrada e Silva a principios del siglo XIX descubrió y caracterizó nuevos minerales entre los cuales más tarde se identificaría el elemento litio, construyendo posteriormente el primer alto horno del país en su natal Minas Gerais (Alfonso-Goldfarb, 1990). En 1874, comienza a funcionar, en la entonces escuela Politécnica de Río de Janeiro, un curso de ingeniería de minas. Un año después fue inaugurada la Escuela de Minas de Ouro Preto de fuerte tradición francesa. Tanta fue esta tradición que al copiarse el curriculum de los grandes politécnicos franceses, líderes en su momento en estas profesiones, los alumnos brasileños que intentaban ingresar fracasaban estrepitosamente. Las adecuaciones y los cambios en ambos centros no se hicieron esperar. En 1880 se establece un laboratorio de fisiología en el Museo de Historia Natural de Río de Janeiro que durante los siguientes 20 años se dedicó a la investigación 'analítica' sobre plantas y animales del Brasil. Esta institución fue seguida en 1892 por el Instituto Bacteriológico de Sao Paulo, más dedicada a temas relacionados con la medicina. Posteriormente y ya a mediados del siglo XX en pleno 'milagro brasileño' la instalación de una poderosa industria capaz de producir aviones y computadoras, tener expediciones tanto en el Amazonas como en el Ártico, sugiere la posibilidad de pensar que en algunos sectores de la sociedad brasileña predomina la forma de conocer de la tecnociencia.

Cuando el presidente João Goulart le crea una nueva capital al país en 1961, la acompaña con una nueva universidad, la Universidad de Brasilia. De ella dijo su primer rector Darcy Ribeiro en 1978 recordando lo sucedido con el golpe militar de 1964:

Queríamos trabalhar para a Nação, ser capazes de pensar e elaborar o saber brasileiro e contribuir para a formulação do nosso projeto de Nação. Mas para isso seria preciso haver liberdade de assumirmos riscos, cometermos erros na busca de nosso caminho. A UnB tinha que ser uma universidade de homens livres, e, a partir do momento em que não houve mais liberdade no Brasil, aquele sonho foi abaixo, e a UnB foi transformada em seu oposto, uma velha universidade, que reproduz os privilégios e as classes dirigentes de um país colonizado e dependente, existindo para outros povos que não o seu próprio.

A pesar de las profundas desigualdades educativas imperantes en el país, las jóvenes universidades brasileñas más descentralizadas, siguiendo un modelo más cercano al anglosajón, son en el contexto de América Latina un éxito. Por ejemplo la prestigiosa Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) en el rico estado de Sao Paulo, fue fundada en 1966. Hoy en ella se concentra el 15% de toda la investigación científica brasileña y el 10% de todo el posgrado nacional. Medido, con las limitaciones que ello conlleva (Chamizo, 2003), a través de las publicaciones indexadas en algunas disciplinas (en este caso la química por el Chemical Abstracts) Brasil representa hoy la mitad de toda la investigación que se produce en la región (Martínez, 1998).

La cultura es el conjunto de modos de vida y conocimientos de una comunidad. Es también, la forma en la que viven e interactúan los individuos. Hay culturas que propician una de las formas de conocer de la ciencia y otras que no lo hacen.

La imagen ortodoxa de las formas de conocer científicas, en buena medida la que aquí se identifica como forma de conocer analítica, sugería que ésta era fundamentalmente conocimiento público sujeto a comprobación, generalmente por otros científicos. Es esa posibilidad de repetir una y otra vez los experimentos o las observaciones en diferentes condiciones de tiempo y espacio, y validarlas comúnmente, lo que hace que el conocimiento científico sea objetivo y confiable. Sin embargo las cosas han cambiado a una enorme velocidad. Hoy, cuando más de la mitad de las 100 mayores economías del mundo lo son empresas transnacionales, la pureza del saber científico está en entredicho (Wast, 1999):

Durante mucho tiempo la ciencia fue un asunto que incumbía sobre todo a los responsables políticos y a los investigadores de las grandes potencias. “Tengan confianza en nosotros –decían a los ciudadanos- trabajamos para ustedes, para su seguridad y su prosperidad”

Este contrato tácito entre ciencia y sociedad ya no es válido. En la batalla económica mundial, la investigación sirve cada vez más al mercado y se orienta hacia la innovación tecnológica. Las fronteras se pierden entre los laboratorios, públicos y privados, y los servicios comerciales de las empresas. Entonces, ¿cómo la ciencia, que se asimila cada vez más a un “recurso comercial”, puede beneficiar a todos?

La cantidad de dinero que cada nación dedica a la investigación y el desarrollo en ciencia es una medida clara de la importancia que para esa sociedad y esa cultura, representa la tecnociencia. La Tabla 1 indica al año 2000 la inversión mundial en investigación y desarrollo.

Tabla 1. Inversión mundial en Investigación y Desarrollo para el año 2000 (RICYT, Red Iberoamericana de Ciencia y Tecnología)

ZONA	PORCENTAJE DEL TOTAL DE INVERSIÓN	PORCENTAJE DEL PIB
Estados Unidos y Canadá	42.5	2.2
Unión Europea	24	1.81
Japón	15.6	3.04
Resto de Asia	10.1	
Resto de Europa	4	
América Latina	1.6	0.54
África y Oriente Medio	1.5	
Oceanía	1.2	

De la Tabla anterior se puede colegir que:

- Casi la mitad de toda la inversión del mundo se lleva a cabo en América del Norte (sin incluir a México).
- Europa representa una cuarta parte, la otra Japón y el resto Asia.
- Sin tener la información para todos los países de Asia, es claro que al menos Japón

(y seguramente muchos de los llamados tigres de Asia), la Unión Europea y Estados Unidos con Canadá destinan al menos el 2% de su Producto Interno Bruto a la investigación y el desarrollo.

- América Latina, África y el Medio Oriente alcanzan juntos el 3% de toda la inversión y en la primera se destina únicamente el 0.54% del PIB. Los datos de 2011 indican un ligero crecimiento en esa década al pasar al 0.78% del PIB local.

Resumiendo, hoy los países menos desarrollados carecen de una política vigorosa en cuanto a la inversión en ciencia y tecnología. Una razón de ello, que no la única, la da García Canclini (2002) en su ensayo premiado hace algunos años *Latinoamericanos buscando lugar en este siglo* donde indica:

Toda recuperación temporal, limitada a sectores de algunos países, será precaria mientras no se renegocie la deuda externa e interna de un modo que permita crecer en conjunto. El hecho más desestabilizador y empobrecedor de los últimos treinta años es el aumento sofocante de la deuda externa. Los latinoamericanos debíamos 16 mil millones de dólares en 1970; 257 mil en 1980 y 750 mil millones en 2000. Esta última cifra, según cálculos de la CEPAL y el SELA, equivale al 39% del Producto Geográfico Bruto y al 201% de las exportaciones de la región”(...

(...) América Latina no está completa en América Latina. Su imagen le llega de espejos diseminados en el archipiélago de las migraciones. En varias naciones latinoamericanas las remesas de dinero enviadas por los migrantes representan más del 10% del PIB (...) En conjunto América Latina recibió en 2001 una vez y media lo que pagó como intereses por su deuda externa en los últimos cinco años, y mucho más de lo que llega en préstamos y donaciones para el desarrollo.

A pesar de autoproclamarse políticamente independientes los países latinoamericanos están sujetos a una enorme presión económica, derivada, entre otras causas, a su incapacidad de ser tecnocientíficamente independientes. Sobre esto recientemente el pensador francés Alain Touraine (2006) ha señalado:

No obstante, ahora es necesario ir más allá de las ventajas de una coyuntura favorable y trabajar para mejorar el funcionamiento de las economías y las sociedades. Y en este aspecto, la realidad no es tan halagüeña. Chile es el único país que posee unos medios de gestión de categoría internacional, pese a que su política educativa es poco adecuada y contribuye a aumentar las desigualdades. El resto del continente no se comporta como una región moderna, sobre todo en el terreno de la innovación y la investigación. El estado de Sao Paulo, en Brasil, es el único dotado de un equipamiento que le permite exportar productos de alta tecnología.

Así, salvo el notabilísimo ejemplo de Syntex, que acumuló durante su integral presencia en México 565 patentes, incluyendo la relacionadas con la síntesis de la cortisona y de la píldora anticonceptiva (Hernández 2014), únicamente la zona más rica de Brasil podríamos decir que se encuentra en el tercer estadio de las formas de conocer, aquella que integra de una u otra manera a las dos anteriores: la tecnociencia. Ya lo dijo, de otra manera, el físico español Antonio Lafuente hace casi treinta años en el Simposio sobre “El perfil de la Ciencia en América” (Lafuente 1986):

La mayor parte de las actividades en las instituciones consagradas a la ciencia es o bien política y técnica, o bien puramente ornamental, academicista y, con frecuencia, socialmente marginal.

6. Sobre la enseñanza de la historia de la ciencia

Por medio de esta expresión (“fuga interior de cerebros”) quiero significar una posición cognitiva asumida por los científicos del Tercer Mundo y de América Latina, que sin emigrar de sus países –sentido en el que se utiliza comúnmente la expresión “fuga de cerebros” orientan su trabajo científico en función de los frentes de investigación, de los sistemas de recompensa y de publicación de los países desarrollados. La “fuga interior de cerebros” es en consecuencia la orientación exógena del trabajo científico local, por su subordinación voluntaria y profesional a los problemas y programas de investigación definidos y recompensados en los centros científicos de los países desarrollados.
X. Polanco (1986)

De manera muy general, por primera vez en la historia de la ciencia, cuando hoy una generación de estudiantes inicie una carrera profesional, lo que se sabe de esa disciplina será, aproximadamente la mitad de lo que se sabrá cuando la terminen. En términos de información el pasado, en particular el inmediato, es cada vez más 'denso'. Por ejemplo la cantidad de información química actual es enorme. Considerando únicamente las síntesis de nuevas sustancias, su número ha venido creciendo de manera exponencial desde 1800, cuando se habían reportado un poco menos de mil de ellas, a más de 89 millones en la actualidad (agosto 2014). Por otro lado ya el filósofo alemán J. Schummer indicó que la química produce más publicaciones (artículos, libros, patentes) que todas las demás ciencias juntas, algo así como 2 millones de publicaciones, en conjunto, al año (Schummer 2011). Para decirlo en breve estar informado, así sea en una pequeña porción de toda la química, ha sido una ficción desde hace muchas décadas. Esto, que es así para los expertos investigadores, es aún más manifiesto para los profesores. Por ello la pregunta obligada acerca de los contenidos es ¿qué enseñar? ¿Qué poner en los libros?

Adelanto una primera respuesta a este problema. Hay que escoger de entre la enorme cantidad de información generada aquella que permita vertebrar un mejor entendimiento del futuro. El de todos y también el nuestro en América Latina. Hay que escoger la muy pequeña cantidad de información que permita desarrollar las competencias requeridas en un mundo cada vez más cambiante. Así lo dice desde hace décadas el investigador inglés Guy Claxton (1994, p. 159):

En el mundo en el que van a vivir los jóvenes, nada podría tener más valor que la capacidad de construir nuestra propia vida a medida que la vivimos: encontrar nosotros mismos qué es lo que nos satisface, conocer nuestros propios valores y nuestra propia mente, enfrentarnos a la incertidumbre con coraje e ingenio, y valorar lo que nos dicen los demás con un escepticismo inteligente y sano... La preocupación fundamental de una educación contemporánea útil debe centrarse en la capacidad de las personas para aprender bien. Cualquier otra prioridad, por muy apreciada que sea, que socave el compromiso de fomentar la habilidad para el manejo del cambio o nuestro éxito en hacerlo, deberá ser relegada o suspendida.

La historia en general y la de las ciencias en particular nos ha enseñando que las que fueron respuestas correctas para preguntas de su lugar geográfico y de su tiempo, años después fueron consideradas erróneas. Los héroes se convirtieron en villanos y

viceversa. No hay verdades absolutas. Como lo dijo Einstein... 'la ciencia es más un viaje que un destino'.

Por otro lado, los cambios que han registrado los libros de texto en los últimos treinta años no muestran ningún reconocimiento explícito de este cambio revolucionario en la cantidad de información científica generada. Así, una vez que la mayoría de los profesores en todo el mundo utilizan los libros de texto como la principal (y a veces la única) fuente de información, nos hemos convertido, sin saberlo, ni seguramente tampoco quererlo... en profesores de historia de las ciencias. Lo que es peor, y se que a mis colegas no les gustará esto, somos 'malos' profesores de historia, porque la ignoramos y porque no sabemos cómo enseñarla.

Sin embargo no todo es tan negativo. Para empezar ya hay libros que hablan de tecnociencia (Echeverría, 2003). Además en los últimos años las aportaciones provenientes de las ciencias cognitivas y la filosofía e historia de las ciencias han permitido construir un mínimo pero certero consenso sobre otras formas de enfrentar los procesos de aprendizaje (Duschl, 1994; Matthews 1994; Justi 2000, Chamizo 2013a). A pesar de la dificultad de contar con materiales explícitos sobre la historia de las ciencias en América Latina y sobre lo que han representado para nosotros hay ya lugares dónde encontrarnos y encontrarse (Andrade 2010; Celestino 2013; Matthews 2014) además de los valiosos, por diferentes, textos de Bernal y Conner.

La relación entre pasado y presente es semejante a la que hay entre la memoria y el olvido. Y la memoria en su caracterización más simple, es la presencia –desde luego presente del pasado-. Ahora bien, ese pasado difícilmente lo es del individuo aislado, sino más bien lo es del individuo en un entorno particular, del individuo en contexto... en el contexto de América Latina. Un grupo social comparte una determinada cultura, que es la forma en la que viven los individuos al interior de las diferentes sociedades humanas, y a través de ella, y sólo de ella, es posible descifrar el pasado (Addison-Wesley, 1993).

La memoria y, como ya indiqué, la cultura es la que permite que los individuos que la comparten adquieran, a través de ella, sentido y pertenencia, ¿la hay para los latinoamericanos? Evocamos la memoria desde el presente, con preguntas precisas que tienen una finalidad y una ambición provenientes del instante, ¿cuál es? Y el instante deberá estar relacionado, tanto en el salón de clases, como en el laboratorio, con el aprendizaje. Por ello trayendo el abono de otras partes hay que hacerse la siguiente pregunta *¿qué deben aprender nuestros niños para que sean niños de su tiempo, y hombres de América?*

7. Conclusiones

Como reflexión final hay que considerar que a pesar de los innegables logros en las ciencias que se han tenido en América Latina, no hay algo que pueda llamarse propiamente ciencia latinoamericana, como tampoco la hay alemana, ni francesa, ni estadounidense. Ni ciencia femenina (Rodríguez-Sala, 2005) ni ciencia negra. Las ciencias, son una forma de ver el mundo que al integrarse en una determinada cultura la transforman y esto no es monopolio de una nación, ni de un grupo étnico o social. En América Latina esa integración y transformación, caracterizada por la forma de conocer de la tecnociencia, todavía no sucede.

El filósofo X. Polanco (1986) ha acuñado la provocadora expresión 'fuga interior de cerebros' para referirse a la posición asumida por muchos de los científicos de América Latina, que sin emigrar de sus países orientan su trabajo hacia aquella ciencia de los sistemas de recompensa de los países desarrollados. Es la subordinación voluntaria y profesional, el 'exilio intelectual'. Hay que discutirlo en los salones de clase de manera que sin necesariamente negarlo, permita reconocer que la historia de las ciencias es la historia de los hombres y las mujeres que buscan entender y modificar el mundo, aunque esto último en América Latina se nos escape cada día más y más. Una parte de esa historia es también hoy, nuestra historia. Conocer sus aciertos permitirá, tal vez, evitar sus fracasos y con ello asumir culturalmente las riendas de nuestro destino común. Lo anterior sigue siendo un tema pendiente en la educación latinoamericana... ¡e incorporarlo es impostergable!

Lista de referencias bibliográficas

- ADDISON W. (1993) *Multiculturalism in Mathematics, Science, and technology, readings and activities*, Menlo Park, Addison Wesley.
- ALFONSO-GOLDFARB A. M. Y MÉNDEZ MARCÍA H. (1990), 'A Recepcao da Quimica Moderna no Brasil', *Quipu, Revista Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología*, 7, 73-92.
- ANDRADE R., LEWOWICS L., HIDALGO J., CELESTINO C. Y AL-CHUEYR L. (2010) *Filosofia e Historia da Ciencia no Cone Sul*, Campinas, Associação de Filosofia e Historia da Ciencia do Cone Sul.
- BARGALLÓ M. (1966) *La minería y la metalurgia en la América española durante la época colonial*, México, FCE.
- BASALLA G. (1991) *La evolución de la tecnología*, Barcelona, Grijalbo.
- BERNAL J.D. (1979) *La Ciencia en la Historia*, México, UNAM-Nueva Imagen.
- BIFANO C. (1990) 'Vicente Marcano y la investigación química en la Venezuela del siglo XIX' *Quipu, Revista Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología*, 7, 61-72.
- CELESTINO C. y BRZEZINSKI M.E. (2013) *Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas*, Sao Carlos, TEE.
- CEREIJIDO M. (2000) *La nuca de Houssay. La ciencia argentina entre Billiken y el exilio*, México, FCE.
- CEREIJIDO, M. (1994) *Ciencia sin seso. Locura doble*, México, Siglo XXI.

- CETTO A.M. Y HILLERUD K.I. (compiladores) (1995) *Publicaciones científicas en América Latina*, México, ICSU-UNESCO-UNAM-AMC-FCE.
- CHALMERS A. (1983) *What is this thing called science?*, Milton Keynes, Open University Press.
- CHAMIZO J.A. (2013a) *De la paradoja a la metáfora. La enseñanza de la química a partir de sus modelos*, México, UNAM-Siglo XXI.
- CHAMIZO J.A. (2013) Technochemistry: One of the chemists' ways of knowing, *Foundations of Chemistry*, 15, 157-170.
- CHAMIZO J.A. (2003a) 'Situación actual y desafíos de la enseñanza universitaria de la química en América Latina', *Documento de apoyo* Red de Facultades de ciencias de América Latina y el Caribe, Montevideo, UNESCO.
- CHAMIZO J.A. (2003) *Química mexicana*, México, CONACULTA-Tercer Milenio.
- CLAXTON, G., (1994) *Educating curious minds. The challenge of science in the classroom*, Madrid, Visor.
- CONNER C.D. (2005) *A People's History of Science*, New York, Nations Books.
- DANTES M.A. (1988) 'Fases da Implantação da Ciência no Brasil', *Quipu, Revista Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología* 5, 265-275.
- DEL BUSTO J.A., (1970) *Historia general del Perú. Perú antiguo*, Lima, Studium.
- DJERASSI C. (1996) *La píldora, los chimpancés pigmeos y el caballo de Degas*, México, Fondo de Cultura Económica.
- DIAMOND J., (1998) *Guns, germs and Steel. A short history of everybody for the last 13 000 years*, London, Vintage.
- DÍAZ Y DE OVANDO C., (1998) *Los veneros de la ciencia mexicana*, México, Facultad de Ingeniería-UNAM.
- DUSCHL R.A. (1994) Research on the history and Philosophy of Science, en Gabel D., *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, New York, Macmillan.
- ECHEVERRÍA J. (2003) *Introducción a la metodología de la ciencia*, Madrid, Catedra.
- ECHEVERRÍA J. (2004) *La revolución tecnocientífica*, Fondo de Cultura Económica, Madrid.
- ESTRELLA E. (1995) 'La odontología en América prehispánica', en Alfonso-Goldfard A.M. y Maia C.A. *Historia da ciência: o mapa do conhecimento*, São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo,
- ESTRELLA E. (1996) 'Medicina autóctona precolombina', en Saldaña J.J. (coordinador) *Historia social de las ciencias en América Latina*, México, UNAM.
- GALERA A. (1995) 'La Expedición Malaspina (1789-1794) y el conocimiento de la naturaleza americana' en Alfonso-Goldfard A.M. y Maia C.A. *Historia da ciência: o mapa do conhecimento*, São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo.
- GARCÍA N. (2002) *Latinoamericanos buscando lugar en este siglo*, Buenos Aires, Paidós.
- GARFIELD E. (1984) 'Essays of an Information scientist, Latin American Research. Part 2' *Current Contents*, 20, 3-10.

- HERNÁNDEZ Y. (2014) *Construcción de saberes científicos en torno a los recursos naturales vegetales en Instituciones Académicas Mexicanas: el caso de las sapogeninas esteroidales (1935-1965)*, Tesis de Doctorado, México, CINVESTAV.
- JUSTIR. (2000) “Teaching with Historical Models” in Gilbert J.K. and Boutler C.J. *Developing Models in Science Education*, Dordrecht, Kluwer.
- LAFUENTE A. (1986) La ciencia periférica y su especialidad historiográfica, en *El perfil de la ciencia en América*, Juan José Saldaña (Ed.), XI Congreso Interamericano de Filosofía, México, *Cuadernos de Quipu* 1, pp. 31-41.
- LE GOFF J. (2001) *El orden de la memoria*, Barcelona, Paidós.
- LOZOYA X. (1998) *La herbolaria en México*, México, Tercer Milenio-Conaculta.
- MAGAÑA F. (1990) 'Las Matemáticas y los mayas', *Revista Ciencias*, No. 19, julio.
- MAGAÑA F. (2002) Acerca de la enseñanza universitaria de la Física en América Latina: situación actual y desafíos, *Documento de apoyo* Red de Facultades de ciencias de América Latina y el Caribe, Montevideo, UNESCO.
- MARTÍNEZ E. Y ALBORNOZ M. (1998) *Indicadores de ciencia y tecnología: estado del arte y perspectivas*, Red Iberoamericana de indicadores de Ciencia y Tecnología, UNESCO, Caracas, Nueva Sociedad.
- MATTHEWS M.R. (2014) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Dordrecht, Springer.
- MATTHEWS M.R. (1994) *Science teaching: the role of history and philosophy of science*, London, Routledge.
- MENDOZA C.L. (1995) “La recepción de la química moderna en el Río de la Plata: Ensayo de reinterpretación”, en *Las ciencias químicas y biológicas en la formación de un mundo nuevo*, Aceves P. ed., México, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.
- O' GORMAN E. (1958) *La invención de América*, México, Fondo de Cultura Económica.
- OSORIO R. (1990) 'Historia de la química en Colombia', *Quipu, Revista Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología* 7, 37-60,
- PICKSTONE J.V. (2011) Sketching Together the Modern Histories of Science, Technology and Medicine, *Isis*, 102, 123-133.
- PICKSTONE J.V. (2000) *Ways of knowing*, Manchester, Manchester University Press.
- POLANCO, X. (1986) “La ciencia como ficción. Historia y contexto”, en *El perfil de la ciencia en América*, Juan José Saldaña (Ed.), XI Congreso Interamericano de Filosofía, México, *Cuadernos de Quipu* 1, pp. 41-56.
- PORTUONDO J. (1990) 'Ideario Pedagógico Martiano: La paidea martiana en la Edad de Oro', en *Conferencias Especiales y mesas redondas, Pedagogía 90*, La Habana, Cuba
- QUEVEDO E. Y GUTIÉRREZ F. (1996) 'La medicina científica y la salud pública en América Latina', en Saldaña J.J. (coordinador) *Historia social de las ciencias en América Latina*, México, UNAM.
- RODRÍGUEZ-SALA M.L. Y ZUBIETA J. (2005) *Mujeres en la ciencia y la tecnología: Hispanoamérica y Europa*, México, IIS-UNAM.

- ROJAS T. (1996) 'Tecnología agrícola precolombina', en Saldaña J.J. (coordinador) *Historia social de las ciencias en América Latina*, México, UNAM.
- SALA J. (1988) 'Ciencia y técnica en la metropolización de Lima', *Quipu, Revista Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología*, 5, 389-412
- SCHUMMER J. (2011) 'La filosofía de la química. De la infancia a la madurez' en Baird D., Scerri E. y McIntyre L. (eds) *Filosofía de la Química*, México, Fondo de Cultura Económica.
- TOULMIN S. (1972) *La comprensión humana I. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*, Madrid, Alianza Editorial.
- TOURAINÉ A. (2006) 'La recuperación de Latinoamérica', *El País*, 18 de marzo
- TRABULSE E., (1985) 'Latinoamérica y la ciencia: un problema de identidad', *Quipu, Revista Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología* 2, 443-451.
- VILCHIS J., ARIAS V., (1992) *Ciencia y técnica entre viejo y nuevo mundo. Siglos XV-XVII*, Madrid, Ministerio de Cultura.
- WAAST R., BOUKHARI S. (1999) '¿Quién posee la ciencia?' *Correo de la UNESCO*, mayo.

Capítulo 5

Prácticas experimentales e instrumentos científicos en la construcción del conocimiento científico escolar

Álvaro García Martínez.⁵

Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Bogotá, Colombia⁶

Índice

Resumen

1. Introducción

2. La práctica experimental en la construcción del conocimiento científico

3. Los instrumentos científicos y su aporte a la comprensión del desarrollo del conocimiento científico

4. ¿Qué es un instrumento científico? ¿Cómo surge dicho término?

5. ¿Cómo se pueden clasificar los instrumentos científicos?

6. La cuba neumática como instrumento empleado en el estudio del estado gaseoso durante la revolución química

7. Implicaciones didácticas en el conocimiento científico escolar

Lista de referencias bibliográficas

Resumen

A continuación, se presentan algunas reflexiones sobre la práctica experimental y los instrumentos científicos seguidas de algunas implicaciones didácticas en la enseñanza de las ciencias. En este sentido se plantea el papel de la práctica experimental en la construcción del conocimiento en las ciencias y de allí las derivaciones para el caso del conocimiento científico escolar, de igual manera cómo a partir de esta práctica experimental se pueden crear modelos de interpretación del mundo material en las ciencias y en la escuela; y cómo se interpretan los instrumentos científicos y el papel de éstos en la construcción del conocimiento científico. Como caso particular se presenta al final el estudio de la cuba neumática como instrumento empleado durante la revolución química y el papel de ésta para la comprensión del cambio químico, concepto esencial para la enseñanza de la química.

⁵ Agradezco a Mercè Izquierdo Aymerich, del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas de la Universidad Autónoma de Barcelona, España, por su orientación en la realización de este trabajo.

⁶ Grupo de investigación en didáctica de la Química, DIDAQUIM. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá (Colombia)

1. Introducción

El estudio del progreso de la ciencia se ha analizado desde perspectivas diferentes y con diversos enfoques teóricos, desde posturas lingüísticas, metodológicas hasta perspectivas más socioconstructivistas, que resaltan el papel social y cultural de la actividad científica y de los resultados que de ella se derivan. Desde esta última postura, se resalta el papel de la práctica experimental y de los instrumentos científicos (o 'artefactos' tecnológicos) en toda esta actividad de producción de conocimientos; esta nueva perspectiva se ha comenzado a estudiar desde la filosofía de la ciencia, al hablar de tecnografía, y desde la historia de las ciencias, cuando se estudia el papel que jugaron los instrumentos científicos, cuadernos de laboratorio y los trabajos de laboratorio en el proceso de construcción de conocimientos en un momento específico del desarrollo de la humanidad. Estos aspectos se han convertido en fuentes importantes de estudio en la medida en que aportan al conocimiento sobre la ciencia misma y a la vez en cómo el conocimiento científico se ha venido construyendo y evolucionando (Höttecke & Silva, 2011). Reflexiones que nos ayudan a enriquecer la imagen de ciencia que poseemos y que proyectamos de manera consciente e inconsciente en nuestras actividades docentes cotidianas.

2. La práctica experimental en la construcción del conocimiento científico

Las concepciones que le han dado origen a la filosofía moderna de la ciencia se han ido transformando a la par con el desarrollo de nuevos estudios filosóficos, históricos y sociales de la ciencia y la tecnología, a partir de los años setenta del siglo XX. Algunos autores hablan de las concepciones lingüísticas y metodológicas predominantes en la filosofía de la ciencia de la primera mitad del siglo XX, las cuales han ido dando cabida, junto a los componentes representacionales de la ciencia, a sus componentes sociales e históricos, políticos y axiológicos, así como a los materiales y los tecnológicos (Medina 2002).

2.1. La práctica experimental desde un enfoque cultural de la ciencia

Frente a las posiciones que defienden la relevancia de los contextos sociales en la actividad y en la producción de los científicos, se plantean posiciones críticas que analizan que esto no es suficiente y que por el contrario son una parte inicial; al respecto Andrew Pickering señala:

“La sociología del conocimiento científico simplemente no llega a ofrecernos el aparato conceptual necesario para captar la riqueza del hacer científico, el denso trabajo de construir instrumentos, planificar, llevar a cabo e interpretar experimentos, elaborar teorías, negociar con los gestores de los laboratorios, con las revistas, con las instituciones financiado?-as, y así sucesivamente. Describir la práctica científica como abierta e interesada equivale, en el mejor de los casos, a rasguñar la superficie” (Pickering, 1992).

Esta crítica intenta que se comprenda también la ciencia 'como un campo de dispositivos materiales operativos y comprender así las representaciones científicas en relación con estos dispositivos, antes que en su usual aislamiento esplendoroso'

(Pickering, 1993). De tal manera que no puede estudiarse la ciencia sin tener en cuenta el papel tan importante que juegan los instrumentos y a la vez la mediación del lenguaje (Izquierdo, 2000).

Desde esta posición se plantea una revaloración de los artefactos tecnológicos para la comprensión de la ciencia, los cuales van como posición alterna a las concepciones representacionales de la filosofía de la ciencia; tal es el caso de Ian Hacking, quien reconoce que la ciencia no puede reducirse sólo a las teorías científicas, sino que la práctica experimental es esencialmente un modo de intervención tecnológica (Hacking, 1983). Hacking propone abandonar la moda de no hablar sobre las cosas sino sobre la forma en que hablamos sobre las cosas, para dejar de hablar de enunciados observacionales y hablar de la actividad experimental (Hacking, 1983). Según su filosofía:

Las teorías de las ciencias de laboratorio no se comparan directamente con 'el mundo'; persisten porque son verdaderas acerca de los fenómenos producidos o incluso creados por aparatos en el laboratorio y se miden mediante instrumentos que nosotros hemos construido (Hacking, 1992).

Estos planteamientos, que se estructuran sobre la base de la integración de la práctica científica y sus entornos técnicos y artefactuales, parten de la constatación que 'los filósofos de la ciencia debaten constantemente sobre las teorías y las representaciones de la realidad, pero no dicen casi nada sobre la experimentación, sobre la tecnología o sobre el saber como herramienta para transformar el mundo' (Hacking, 1983).

Estas posiciones de relegación de la experimentación, de los instrumentos y de la práctica en general se han presentado desde la filosofía de la ciencia hasta la historia de las ciencias mismas. Hasta finales del siglo XX se comenzó a prestar suficiente atención a este campo tan importante de estudio como lo son las prácticas experimentales, los instrumentos científicos, los cuadernos de laboratorio desde una visión de la historia de las ciencias (García y Bertomeu, 2001, García-Martínez e Izquierdo, 2104), al igual que a la filosofía de la tecnología (Medina, 2002).

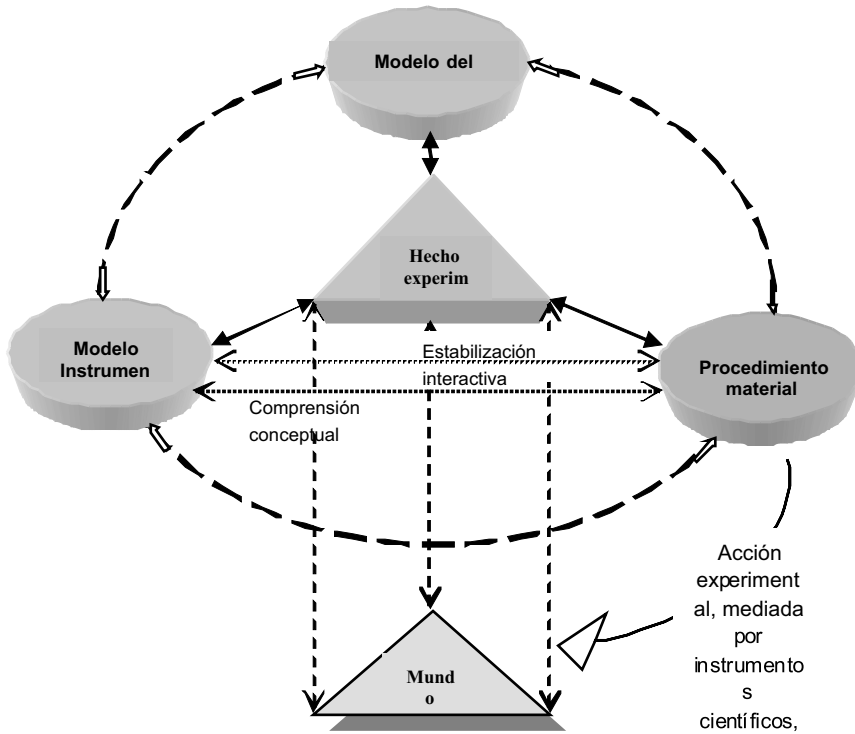
Los planteamientos presentados no se quedan allí, sino, por el contrario, generan un posicionamiento interesante al intentar estructurar un enfoque cultural para la ciencia misma, que Pickering caracteriza como el paso de la ciencia como conocimiento a la ciencia como práctica y cultura. Según el mismo autor, este avance fundamental consiste en el 'movimiento hacia el estudio de la práctica científica, lo que los científicos hacen de hecho, y el movimiento asociado hacia el estudio de la cultura científica, entendida como la esfera de los recursos que la práctica hace funcionar dentro y fuera de ella' (Pickering 1992). En este sentido, Pickering (1995) entiende por cultura las '*cosas hechas*' de la ciencia, en las que *incluyo habilidades, relaciones sociales, máquinas e instrumentos, así como hechos y teorías científicas*. (Pickering, 1995).

2.2. Papel de la práctica experimental en la creación de modelos

Pickering (1989) nos plantea una postura interesante sobre la práctica y cómo puede ser tomada para analizar el progreso de la ciencia, la cual orientará el desarrollo de este apartado. Al pensar en los usos de la experimentación se puede observar que son diversos y van desde un descubrimiento hasta la creación de una imagen del mundo material. Así se establece una relación íntima entre las prácticas conceptuales y materiales, entre el hacer en nuestro mundo material y nuestra comprensión de éste. De esta manera, se plantean dos conjuntos de afirmaciones que constituyen una buena teoría bien confirmada: las primeras son afirmaciones de predicciones teóricas que son tomadas de acuerdo con; las segundas, afirmaciones de hechos experimentales. La constitución de afirmaciones de los hechos en la práctica material es la menos trabajada, es decir, que son muy pocos los estudios que se han hecho sobre práctica experimental.

Los elementos que se conjugan en todo hecho experimental son: un procedimiento material, un modelo instrumental y un modelo del fenómeno. El procedimiento material (PM) hace referencia a la acción experimental en el mundo material, es decir, el conjunto de instrumentos científicos, la ejecución del experimento y el monitoreo en el laboratorio. Por el modelo instrumental (MI), se interpreta la comprensión conceptual del investigador en referencia al funcionamiento de los instrumentos; es la parte central del diseño, la ejecución y la interpretación del experimento, que luego de establecerse un proceso de interacción con los procedimientos materiales, pueden convertirse en modelos conceptuales. Los hechos experimentales se producen como hechos significativos sobre el mundo del fenómeno natural. El tercer elemento, el modelo del fenómeno (MF), es una comprensión conceptual de los aspectos del mundo del fenómeno que está siendo investigado. Los modelos del fenómeno no son necesariamente una teoría de alto nivel, sino que su agrupación crea una teoría científica.

Estos tres elementos estructuran las dimensiones conceptuales y materiales de la práctica experimental, con lo cual éstas son las dimensiones de conexión entre el mundo material y el conocimiento científico. Los tres evolucionan todo el tiempo, por y en la naturaleza misma, lo cual se denomina realismo correspondiente de los hechos (y fenómenos, y procedimientos materiales, y los modelos instrumentales). Hay una relación directa y analizable entre el conocimiento científico y el mundo material, la cual está hecha con coherencia y no con correspondencia natural.



Estos elementos pueden variar de orden de creación e interacción, ya que se pueden establecer relaciones iniciales de interacción entre el MF y el MI generando el PM, que es el caso que se considera como ejemplo más común, en los libros de divulgación científica; pero otra posibilidad es que a partir de la interacción entre el PM y el MI modifique o genere un nuevo MF. Y la otra posibilidad es que a partir de la interacción entre el MF y el PM se modifique o genere el MI. De esta manera, se genera un proceso interactivo entre dos elementos que llegan a modificar o crear el otro.

Un aspecto adicional es el lograr la coherencia sobre la que se sustentan los hechos, con lo cual se requiere que se generen modificaciones (moldeado y deformación) entre los procedimientos materiales y los modelos conceptuales, que se pueden denominar recursos plásticos para la práctica; dicha coherencia se percibe cuando se pone de manifiesto la naturalidad y organización, lo cual se denominará estabilización interactiva. Las deformaciones plásticas de los procedimientos materiales y de los modelos conceptuales se entienden como una parte de la acomodación a la resistencia de desestabilización en el mundo material. La coherencia misma entre los modelos conceptuales y los materiales procedimentales se denominará realismo pragmático.

3. Los instrumentos científicos y su aporte a la comprensión del desarrollo del conocimiento científico

Para generar una mayor comprensión de los procesos ocurridos durante la construcción de los conocimientos científicos y la forma como los científicos han actuado durante sus investigaciones, se han venido estudiando sus acciones en los laboratorios y su forma de interpretar el proceso experimental como elemento básico en dicho proceso. La historia de las ciencias juega un papel indispensable en esta nueva mirada hacia el trabajo experimental, aportando cada día más estudios para su comprensión en campos tales como los cuadernos de laboratorio, los instrumentos científicos, los trabajos experimentales y las técnicas empleadas, etc.; así, el laboratorio, un lugar de producción del conocimiento científico por excelencia, se ha convertido en un objeto de estudio de gran interés García-Martínez e Izquierdo, 2104).

Una línea de investigación que se viene adelantando es la del estudio de los cuadernos de laboratorio, ya que a través de ellos se puede conocer buena parte de ciertos aspectos inciertos de la investigación experimental, tales como los pasos en falso, indecisiones, errores, cambios de perspectiva, modificaciones, hechos causales, etc. De esta manera, es posible conocer los aspectos que normalmente no aparecen en las publicaciones de los científicos, con lo cual al estudiarlos se conoce aún más el proceder de ellos frente al trabajo experimental. Así, publicaciones con una estructura lógica impecable son producto de un trabajo en el laboratorio que lleva tras de sí algunos de los elementos antes mencionados, con lo cual se puede afirmar que muchas de las 'experiencias eureka, son más habituales de lo que normalmente se conoce.

Lo anterior no quiere decir que el conocimiento científico sea producto de situaciones de azar, sino que el científico trabajando bajo un paradigma científico interpreta y reinterpreta muchos hechos y experiencias de diferentes maneras, creando ideas nuevas producto de circunstancias particulares en su trabajo experimental (García y Bertomeu, 2001). Así, pues, se plantea un interrogante muy interesante: ¿En qué medida el conocimiento científico es una consecuencia del 'descubrimiento' progresivo de la naturaleza o, por el contrario, una 'construcción' social y cultural? Hay posiciones encontradas sobre las posibles respuestas, desde las visiones más ortodoxas de la ciencia hasta las socioconstructivistas, pero lo único cierto es que se hace necesario conocer mejor el trabajo experimental, teniendo en cuenta que dichas actividades han variado a lo largo de la historia y se han desarrollado en contextos sociales y culturales particulares, todo esto con el fin de comprender mejor el proceso de producción científica.

Al estudiar la manera como los científicos trabajan en el laboratorio se hace indispensable hablar de los instrumentos que han empleado en dicha actividad, con lo cual surge otra línea de investigación fuerte en el campo del conocimiento de la actividad experimental. Hablar de instrumentos científicos no es nuevo, ya que las grandes colecciones que de ellos se poseen han sido muy atractivas para los historiadores de la ciencia, así como de otras disciplinas, y son estudiadas desde hace décadas; en este ámbito de trabajo se destacan la Collection of Historical Scientific

Instruments de la Universidad de Harvard y algunas páginas en internet, tales como Online Register of Scientific Instruments (ORSI).

Al abordar esta línea de trabajo se tiene que mencionar la polémica que se ha generado en torno a ella desde hace muchos años sobre ¿cuál es el papel de la experimentación, del experimento y de los instrumentos mismos en el desarrollo del conocimiento científico?

Durante muchos años se ha criticado fuertemente el experimento y con él la experimentación, al punto que autores como Koyre argumentaron hace algún tiempo:

Good physics is made a priori. Theory preceds facts. Experience is useless because before any experience we are already in posesión of the knowledge we are seeking for... We find and discover them [laws] not in Nature, but in ourselves, in our mind, in our memory, as Plato long ago has taught us (Koyre, 1943).

De igual manera, este autor planteó que un instrumento científico sirve únicamente para ilustrar una conclusión alcanzada primero por un razonamiento lógico. Este tipo de 'idealismo extremo' tuvo gran trascendencia durante muchos años y fue muy influyente en la historia de la ciencia. Durante muchos años la historia de la ciencia fue la historia de la teoría (Helden y Hankins, 1994). El experimento y la medición no eran considerados de interés principal; los instrumentos eran estimados como las mejores 'teorías concretas o reales'. El debate era en gran medida ideológico y se centró más en la aceptación del método adecuado que en la rigurosidad histórica.

Ante esta posición idealista extrema no se hicieron esperar las reacciones sustentadas en estudios históricos; tal es el caso de Thomas Settle, con un estudio pionero sobre los experimentos de Galileo que culminó en 1966 con la publicación de *Discourses on two New Sciences*, seguido de estudios de Stillman Drake y Ronald Naylor, entre otros. Tomando estos y otros estudios realizados en este campo se puede afirmar que 'los instrumentos de Galileo no fueron abstracciones, sino aparatos actuales que sugerían y evaluaban teorías'.

Para el desarrollo de esta temática, consideramos que la posición de Koyre es extrema y que, por el contrario, los instrumentos no son simplemente herramientas para evaluar la teoría. A pesar de la corrección de Settle sobre Koyre, muchos historiadores de la ciencia continúan considerando los instrumentos poco problemáticos. Muchos asumían que dichos instrumentos científicos fueron empleados como se hace ahora y que su interés para los historiadores era más por su carácter de 'anticuario'. Lo central de esta interpretación era la noción que los principios científicos residían en la teoría y quizás en el método experimental, pero no en los instrumentos. Siguiendo esta línea, los instrumentos ayudaron a cuantificar los conceptos, pero no los contienen ni los originan. Recientemente los historiadores reconocen que el papel de los instrumentos en la ciencia experimental ha sido más complejo de lo que se creía. En el siglo XVII no era claro cómo los instrumentos empleados serían usados para obtener conocimiento científico. En cualquier caso, los instrumentos eran nuevos y no había una convención establecida para su uso o para la validación de sus resultados (Shapin y Schaffer, 1985).

4. ¿Qué es un instrumento científico? ¿Cómo surge dicho término?

Al estudiar los instrumentos científicos se hace necesario interpretar lo que significan, ya que hay una ambigüedad en el término instrumento. Por ejemplo, Francis Bacon consideró a los instrumentos con un doble sentido, como método y como herramienta. La palabra también tiene múltiples significados dentro de la filosofía natural. Instrumento científico puede significar producción de maravillas naturales para la edificación del hombre, como una magia natural; pueden ser modelos o analogías para la naturaleza, como en el caso de los relojes solares primitivos o modelos del éter; o pueden ser también extensiones de los sentidos, como los telescopios o microscopios; o dar el significado para la creación de condiciones extremas que no ocurren naturalmente en la Tierra, como en el caso de la bomba de vacío y el acelerador de partículas; pueden ser aparatos para el control y análisis de un fenómeno, como en el caso de un péndulo o un aparato químico; y pueden dar significado de una imagen visual o gráfica, como en el caso de una grabadora que permite adelantar o colocar en cámara lenta una imagen, por sólo citar algunos ejemplos.

Albert van Helden (1994) ha argumentado que el instrumento científico nació durante el período comprendido entre 1500 y 1700. Las ideas iniciales para el uso de los instrumentos científicos giraban alrededor de su diseño para la medición (excepto los utilizados en cirugía y otros por el estilo), mientras que los nuevos instrumentos de la revolución química rara vez medían algo, al menos no al comienzo. También los nuevos instrumentos venían de una tradición de la magia natural, donde el énfasis era el engaño y el entretenimiento, no basado en una observación cuidadosa e imparcial. Muchos de los instrumentos de esta época eran considerados para el deslumbramiento, con lo cual no se aceptaban con mucho entusiasmo y su veracidad tenía que ser demostrada.

Los instrumentos y aparatos se utilizan para la investigación del mundo natural principalmente durante los primeros años del siglo XVII; tal es el caso de la invención del telescopio, microscopio, barómetro, la bomba de aire y el reloj de péndulo. Durante este tiempo, esos instrumentos son agrupados e identificados como herramientas de la filosofía experimental o natural y se diferenciaron de otra clase de instrumentos, tales como los instrumentos musicales, médicos y matemáticos. El nombre dado a esos instrumentos o aparatos – el uso del término se hacía de manera indiferenciada e intercambiable – por la lengua inglesa era 'filosófico'; el término científico probablemente entró en el lenguaje durante el período de reforma, a comienzos del siglo XVII, el cual condujo Francis Bacon.

Según Debora Wagner (1990), el término hace su primera aparición (o al menos, hasta la información que se tiene en el momento) en 1649, cuando Samuel Hartlib escribió a Robert Boyle sobre *models and philosophical apparatus*. Ya de manera explícita, el uso del término aparece mencionado por Nehemiah Grew en 1681, quien, en su catálogo de objetos perteneciente a la Royal Society, creó una categoría 0/

instruments relating to Natural Philosophy diferente de la categoría de instrumentos prácticos, los cuales durante mucho tiempo y por tradición él identificó como 'objetos relacionados con las matemáticas'.

Así, los procesos que se determinaba que eran aceptables para la práctica de la filosofía natural también requerían de una decisión sobre lo aceptable de sus instrumentos. Si se acepta que una parte importante de la Revolución Científica fue la creación de un método experimental, entonces la creación de convenciones para el uso apropiado de instrumentos -que es decidiendo qué clase de instrumentos serían admitidos en la filosofía natural y qué constituía su uso- era crucial para la empresa científica completa (Van Helden y Hankins, 1994).

La distinción de Grew entre lo filosófico y lo matemático refleja una clara comprensión del poder de las palabras hacia la percepción del mundo, al punto que, en aquella época, lo filosófico implicaba autoridad y prestigio. Esta distinción terminológica también ocultó las relaciones entre los hombres de ciencia y los comerciantes que se iniciaban en la práctica del experimento científico en Inglaterra. Esto implicaba que las observaciones, medidas y experimentos que realizaban los filósofos naturales se hacían en búsqueda de la verdad, mientras que los que efectuaban los matemáticos y mecánicos eran con propósitos puramente mecánicos. De esta manera, la magia de la terminología tuvo éxito.

Por su parte, la Royal Society ofrecía otro punto de vista con respecto a esta clase de manipulación social. El ejemplo del progreso social se puede explicar, en parte, por la mezcla de indicios o señales de la tecnología producida por los filósofos experimentales. Francis Bacon posteriormente lo plantearía, al mencionar que ellos estaban interesados en las contribuciones que la ciencia podría hacer a la tecnología. Así, Robert Boyle, por ejemplo, se centraba en *carry philosophical material from the shops to the scholles and divulge the experiments of Artificers* (Boyle, 1664).

Los aparatos filosóficos proliferaron durante el siglo XVIII gracias a fabricantes de instrumentos, lectores y editores que sentían un interés particular por éstos. Algunos de estos aparatos se usaban en investigaciones, pero la mayoría se empleaba para la enseñanza. El nuevo significado del término lo retoma Benjamín Martín en 1742, al solicitar a sus estudiantes que utilizaran 'instrumentos filosóficos de toda clase' para proporcionar arte y ciencia de una manera fácil y familiar. Martín y otros ingleses, holandeses, franceses y alemanes popularizarían los beneficios del método experimental, guiados por el entusiasmo que conlleva la nueva terminología.

Asimismo, además de utilizar sus aparatos inicialmente para mostrar de una manera espectacular lo que ellos habían descubierto, se afirma también que lo hacían para "poner de manifiesto las implicaciones teológicas y morales de la filosofía natural" (Schaffer, 1983; Dumas, 1972).

En la primera mitad del siglo XVIII, a nivel comercial, aparecen anuncios como: 'se fabrican y venden aparatos para filosofía experimental' (1726), y en 1747

Joseph Hickman introduce el término 'fabricante de instrumentos filosóficos'. Hacia 1800, al menos una docena de ingleses se identificaban como 'fabricantes de instrumentos matemáticos, ópticos y filosóficos'. Este tipo de terminología sugiere varias cosas: una es que a pesar de existir diversas conexiones entre varios tipos de instrumentos, aún no hay un término que los reúna a todos ellos. Otra, que a pesar de la demanda aún no existe mucha especialización. Del mismo modo, las cercanas relaciones entre lo filosófico y lo práctico, especialmente en Inglaterra, donde científicos trabajaron con mecánicos en un esfuerzo conjunto para desarrollar una solución a problemas particulares. Y finalmente, el mercado de los instrumentos tomó el primer lugar hacia la industrialización; el término 'fabricante' se incrementó significativamente.

Durante el curso del siglo XIX, los términos 'filosofía natural' e 'instrumentos filosóficos' gradualmente cayeron en desuso, mientras que 'ciencia' e 'instrumentos científicos' se volvieron más comunes. En este mismo siglo la ciencia presenta diversos significados; así, muchos científicos veían la ciencia – o ciencia natural, diferente de la ciencia política y la ciencia moral – como aquella que abarca las ciencias biológicas y físicas, incluyendo ahora la Química, Geología y Psicología. Estas personas interesadas en la profesionalización de la ciencia definían los instrumentos científicos como las herramientas de su trabajo, diferentes de la ingeniería, por ejemplo.

James Clerk Maxwell es el primero en aclarar científicamente el significado de instrumento científico. Él fue miembro del *British Comité of Council on Education*, el cual organizó una colección especial de aparatos científicos en 1876. En dicha colección, el comité siguió la definición de Maxwell:

Un objeto que se usa para hacer un experimento se denomina aparato y una parte del aparato construido especialmente para la realización de experimentos se llama instrumento (Maxwell, 1876).

Un instrumento científico puede ser empleado para cuestiones tan diferentes como la producción de un fenómeno en particular, la eliminación de los efectos de agentes externos al proceso estudiado, la regulación de las condiciones físicas de un fenómeno o la medición de una magnitud. Como se observa, era una definición esencialmente funcional; un instrumento no era científico por sí mismo, sino por su uso, es decir, al utilizarse para una observación o experimento científico; aquellos que eran similares, pero que se empleaban para propósitos educativos o comerciales, no lo eran.

La Academia Nacional de Ciencias (EE.UU.), siguiendo la definición de Maxwell, planteaba que 'un instrumento es filosófico – no diferenciaba entre filosófico y científico – no como consecuencia de su construcción o función, sino por el uso al cual es sometido...' (Report, National Academy of Sciences, 1884). Esta definición se aceptó ampliamente por las comunidades científicas de Inglaterra y EE.UU.

La incertidumbre tradicional sobre el término instrumento científico existe. Quizás es mejor decir que 'los instrumentos son la tecnología de la ciencia, una tecnología que se ha expandido desde el siglo XVII' (Helden y Hankins, 1994).

Tomando como referencia lo anterior, consideramos un instrumento científico como aquel objeto o grupo de objetos – según las relaciones que se establezcan entre ellos, generando una unidad sistémica – que son empleados por el científico para observar, medir o reproducir un fenómeno que se desea analizar en un experimento determinado y adquiere tal connotación en la medida en que se utiliza en una investigación científica. Al hablar de unidad sistémica generada entre objetos, se hace referencia al nuevo sentido que toma un conjunto de objetos, diferente al sentido que tienen por separado.

5. ¿Cómo se pueden clasificar los instrumentos científicos?

William Hackman, encargado de la colección de instrumentos de Oxford, así como otros autores contemporáneos, ha diferenciado entre instrumentos pasivos, como aquellos destinados a la observación y a la medición (termómetros), e instrumentos activos, cuyo objetivo es la creación de nuevos fenómenos en el laboratorio (tubos de rayos catódicos). Adicionalmente a la variedad de clases de instrumentos científicos, también hay una variedad de usos. Helden y Hankins (1994) clasifican estos usos en cuatro campos, para los cuales presentan investigaciones realizadas que soportan dicha organización:

1. Instrumentos que confieren autoridad. Esto sería obvio si el instrumento provee una vía clara de acuerdo con determinar quién está en una posición correcta en una disputa científica, pero obviamente el científico demandará más autoridad que la que puede dar un instrumento.

2. Instrumentos que son creados por públicos. Los públicos consisten no sólo de científicos que usan los instrumentos, sino también para sus patronos que les pagan. Los instrumentos pueden diferenciarse según el público al cual van dirigidos: los propios científicos, estudiantes de cursos científicos, los destinatarios de las obras de divulgación científica, los ingenieros que ejercen en las industrias y otros.

3. Instrumentos que pueden actuar como puente entre la ciencia natural y la cultura popular. Los instrumentos proveen metáforas para escritores y poetas; ellos tienen un importante papel pedagógico en la ilustración y confirmación de la teoría, y definen para el público lo que se acepta en ciencia.

4. El papel de los cambios de los instrumentos cuando son usados para estudiar los organismos vivos -centrado en su lugar tradicional, el laboratorio.

Los instrumentos pueden ser concebidos para un fin y ser utilizados luego en otros contextos y para otros objetivos; esto es lo que se conoce como capacidad mediadora del instrumento *mediating machines*, bien entre disciplinas científicas o entre paradigmas distintos de la ciencia. Tal es el caso de la cuba neumática, que se comenzó a utilizar en el paradigma del flogisto y luego se empleó en el paradigma de Lavoisier. Asimismo, el polarímetro ha sido un instrumento utilizado tanto en la investigación como en la industria del azúcar y conocido como 'sacarímetro'.

Otro instrumento que ubica su uso en dos disciplinas es el 'eudiómetro', empleado para medir la calidad del aire en dos campos de trabajo como lo eran la medicina y la química, el cual fue empleado por investigadores como Joseph Priestley.

Hans Rheinberger (1997) plantea que los instrumentos científicos sólo adquieren su significado pleno en el marco de sistemas experimentales, cuya principal característica es la *replicación diferencial*, es decir, su capacidad de reproducirse, manteniendo cierto grado de libertad. Las comunidades científicas son las que aceptan el uso de un instrumento como elemento confiable para hacer investigaciones científicas. En las publicaciones científicas se presenta el instrumento sin hacer explícitas todas las suposiciones teóricas que son asumidas en su uso. Así, pues, surge la idea de 'caja negra' (black box) para referirse a la idea de toda aquella información que está detrás del instrumento científico que al momento de tomarse datos empíricos se desconozca exactamente su modo de funcionamiento interno. Esta connotación la adquieren los instrumentos y los conceptos científicos en la medida en que la comunidad científica los emplea sin necesidad de que se entienda totalmente su funcionamiento o significado.

Otro problema que se ha analizado es el relacionado con la reproductividad de las experiencias, ya que el manejo de las técnicas de laboratorio y del instrumento mismo requiere de un conocimiento implícito que en muchas ocasiones no aparece en los artículos publicados, lo que se ha denominado como *tacit knowledge*, y que es aquel que se desarrolla en el trabajo cotidiano en el laboratorio mismo (Sendra, 2002).

El estudio de los instrumentos científicos antiguos puede contribuir a abrir la caja negra que encierran muchos de los instrumentos actuales y de este modo comprender con mayor facilidad su funcionamiento, ofreciendo nuevas perspectivas para mejorar la enseñanza de las ciencias. El estudio de algunos principios de la ciencia se comprenden más fácilmente a través del estudio de instrumentos antiguos que de los que se usan en la actualidad. García y Bertomeu (2001) afirman que los instrumentos científicos pueden servir para ofrecer una imagen mucho más humana de la actividad científica actuando como puentes entre las ciencias sociales y las ciencias experimentales, permitiendo renovar la enseñanza de las ciencias tanto en el uso en las aulas de clase como en otros espacios educativos, como museos o centros de divulgación científica.

El papel de los instrumentos ha cambiado, por supuesto, como ha cambiado la ciencia desde el siglo XVII, ambas en sus métodos y en su organización social. Pero estudiando los instrumentos podemos entender mejor cómo se han dado dichos cambios. Desde una perspectiva alternativa a la tradicional, los instrumentos determinan qué se podría hacer y qué se podría pensar sobre un experimento; con frecuencia un instrumento provee un posible inicio de una investigación. El científico plantea no sólo: *tengo una idea, ¿cómo puedo construir un instrumento para confirmar esto?*, sino también: *tengo un nuevo instrumento, ¿qué me puede permitir hacer?*, *¿qué pregunta puedo responder ahora, que antes era inútil para ser resuelta?*

6. La cuba neumática como instrumento empleado en el estudio del estado gaseoso durante la revolución química

Los estudios realizados sobre la revolución química son numerosos y han sido concebidos desde diferentes perspectivas. Se han elaborado algunos centrados en Lavoisier como personaje reconocido durante este período en razón a sus aportes, y otros en el proceso mismo como base para el conocimiento químico. En este apartado se presentan algunos elementos básicos que permiten comprender el papel que tuvo el estudio de los gases en la estructuración de la conocida revolución química orientada por Lavoisier, y la manera como él se apoyó en los estudios que sobre gases adelantaron otros científicos, así como sus procedimientos e instrumentos, para concretar un sistema químico y conceptos clave que se han derivado de éste. Se analiza en detalle el desarrollo histórico de la cuba neumática como instrumento que permitió el estudio de los gases y la correspondiente estructuración del estado gaseoso como elemento fundamental para la concreción de la revolución química.

6.1. Papel del estado gaseoso en la revolución química

A continuación, se presenta una breve descripción sobre el papel del estado gaseoso en la revolución química basado en investigaciones adelantadas por historiadores de la química (Gough, 1971; Donovan, 1996).

Durante la última cuarta parte del siglo XVIII, el estudio de la química se transformó gracias a la introducción de una nueva teoría de la combustión y un nuevo sistema de nomenclatura. Algunos historiadores se refieren a Antoine Lavoisier (1743-1794) como su principal arquitecto. Cuando se habla de revoluciones como eventos que marcaron rupturas, estableciendo nuevas formas de hacer las cosas e indicios de un nuevo comienzo, se piensa en situaciones tales como el surgimiento de los Estados Unidos luego de la revolución americana y la moderna nación-Estado a partir de los conflictos de la Revolución francesa. El estudio de la química moderna no comienza con la revolución química, sino que la revolución marcó el momento en que el estudio de la química se hace moderno (Donovan, 1996).

La revolución química comienza en 1775, extendiéndose aproximadamente hasta 1830, y tiene gran importancia en la medida en que no sólo se convirtió en un evento central para la historia de la química, sino que se ha planteado como uno de los momentos definitorios de la historia de la ciencia moderna. Se plantea que la imagen moderna de la ciencia, entendiéndose como la comprensión moderna de cómo se investigan los fenómenos naturales, fue un producto del período comprendido entre 1775-1830 y que la química, como una reconstrucción de la revolución química, fue ampliamente percibida durante los años siguientes y en el siglo XIX como un paradigma moderno de una disciplina científica.

Durante la época de Lavoisier, Francia, y particularmente París, era, sin ningún rival en el mundo, el centro de la alta cultura, incluyendo la ciencia. Lavoisier recibió

el gran beneficio de construir su carrera en una ciudad cosmopolita que alcanzaría la cumbre como el centro de la civilización occidental y obviamente él hizo muy buen uso de esto para sus propósitos.

Donovan (1996) plantea que la física experimental fue de gran importancia para Lavoisier mucho antes que se comprometiera con la química, lo cual se explica por la relación epistemológica que guardaba dicho estudio de los fenómenos físicos con otros campos estudiados por él, tales como finanzas, agricultura, administración pública, entre otros. De igual manera, fue un buen informado filósofo e ilustrado, cuyos amigos y aliados eran hombres tales como Pierre-Samuel Dupont, Adam Smith, Condorcet, David Hume, Benjamín Franklin y Joseph Black. Todos ellos del siglo XVIII, con una visión de ciencia diferente a la del siglo XVII; así, Lavoisier y sus compañeros académicos nunca llevaron consigo los preceptos de la filosofía natural, ni de la metafísica, ni de la teología del siglo XVII. El modelo liberal disciplinar, el espíritu público y la ciencia colaborativa orientada por problemas fue muy bien establecida en la última generación que vendría madurándose antes de la Revolución francesa.

Lavoisier comenzó a desarrollar sus nuevas ideas sobre la naturaleza de los gases hacia 1776, cuando da inicio al análisis de la relación crucial entre los vapores y el aire, y no en 1772, en que normalmente se asume como el año que comienza la revolución química -fecha en que Lavoisier resuelve la anomalía del aumento de peso de las sales metálicas al atribuirlo a la fijación del aire-. A partir de esta época,⁷ Lavoisier construye un nuevo sistema de teoría fisicoquímica que intentaba explicar los elementos y especialmente el aire y el fuego. Esta teoría es la primera que manifiesta de manera clara el concepto moderno de estado gaseoso. El sistema químico de Lavoisier es la mejor manifestación de concepto moderno del estado gaseoso, y el significado de *proporción* es una consecuencia lógica de la primera concepción teórica que Lavoisier elabora a partir de este estado.

Al realizar una revisión de los escritos de Lavoisier, se observa que escribió dos manuscritos previos, ambos fechados en mayo de 1766: *Chimie Physique, sur les éléments, sur le feu, l'eau, etc l'air* y *Chimie sur la matière de feu et les éléments en général*, ambos refiriéndose a comentarios de dos memorias sobre los elementos, escritos por Johann Theodore Eller, publicados en 1746.

Durante el siglo XVIII se presentó gran interés en explicar el fenómeno de la elevación de vapores en el aire, con lo cual surgieron numerosas teorías, las cuales estaban usualmente enmarcadas en el contexto de la 'filosofía mecánica'. Hacia la primera mitad del siglo XVIII se presentaba un notable cambio en el énfasis de las explicaciones mecánicas de la producción de vapores hacia las explicaciones químicas. Se comenzó a generar un consenso frente a la posición que argumentaba que los vapores se disolvían en el aire al igual que la sal lo hacía en el agua. En Gran Bretaña, esta *teoría de la disolución* de los vapores había sido descrita por Edmond Halley y luego expandida por Franklin y Kames, entre otros; por su parte, el francés Charles Le Roy's la seguía y difundía en su país.

⁷ 1772 no se constituye como el inicio crucial sino como el punto de giro crucial de su carrera.

La falencia más obvia en la *teoría de la disolución* era la imposibilidad de explicar la producción de vapores en el vacío. *La evaporación en ausencia de aire, tal como la solución de sal sin sal, parecía prácticamente imposible; así, la existencia del fenómeno se había mostrado como algo innegable.*

El incremento de la presión barométrica en el vacío era generalmente atribuido a cierta evidencia de presencia de aire, ya que no había una teoría de los vapores elásticos dependiente de su existencia en el calor. De acuerdo con Le Roy, el aire entraba al vacío disolviéndose en el agua; de acuerdo con Abbé Mollet, éste se introducía a través de los poros del recipiente de vidrio, y de acuerdo con Eller, *éste era un producto de la transmutación de agua por fuego*. La teoría de los gases de Lavoisier era, en gran medida, parecida a la teoría de Eller. Sin embargo, en lugar de decir que el agua se convierte en agua por la unión con el fuego, Lavoisier diría que ésta se vuelve *aeriforme*, y en vez de decir que el aire era sólo vapor de agua, él diría que éste era una composición vaporosa de un 'fluido particular' unido a la materia de calor.

Lavoisier se cuestionaba a sí mismo si el calor que estaba unido al agua, compuesto por el aire de Eller, existía en forma de 'materia pura de fuego de la atmósfera solar o en forma de 'esta misma materia en el estado del *ácido pingüe*.

En este momento se observa la existencia de varios hechos experimentales alrededor de un fenómeno en particular como lo es el de los 'vapores', frente a lo cual no se habían desarrollado procedimientos materiales estructurados que orientaran la investigación en este campo tan interesante como incierto para ese momento.

Johann Friederich Meyer (1705-1765) negaba, como lo mencionaba Eller, que el aire fuera una sustancia elemental. De acuerdo con la posición a la que se adhería Eller, el aire estaba compuesto por muchos constituyentes, pero inicialmente por agua unida a una base de ácido pingüe y a la materia de luz. Lavoisier se cuestionaba si era posible que la composición del fuego del aire de Eller pudiera o no unirse al ácido pingüe de Meyer; evidentemente, él preveía la posibilidad de una reconciliación de las dos teorías.

Una controversia pública se genera en 1773 con la publicación de numerosos artículos a manos de los seguidores de Meyer y los de Black, momento preciso en que Lavoisier se compromete con el tema y orienta sus experimentos con tal fin. A comienzos de 1774, publica su *Opusculé physiques et chimiques*, un libro que abordaba el estudio de la naturaleza del aire fijo, la combustión y los carbonatos alcalinos -como se llaman en la actualidad- con base en sus propias investigaciones. En su obra incluyó una introducción, en donde bosquejaba la disputa y los argumentos de las dos teorías, así como las principales figuras de ésta, Meyer y Black, cada uno de manera separada y en extenso.

Lavoisier no conocía los aportes de Meyer por fuentes de segunda mano; otras publicaciones del año 1766 también contienen referencias a Meyer y su doctrina del

ácido pingüe y otros temas, lo que permite suponer que él había sido muy impresionado por éstos, al punto de llegar a adherirse al sistema químico de Meyer. Tres de esos documentos datan de 1766 (*Plan d'un travail, Chimie sur la acidum pingue* y el último no titulado), en los cuales se constata el buen manejo que tenía Lavoisier de dichos conocimientos, e incluso mucho tiempo antes que sus contemporáneos conocieran su existencia. *Uno de los problemas más importantes con los que él se encontró, en el tratado de Meyer, fue el aumento de peso de las sales metálicas.*

Meyer argumentó que cuando los metales se quemaban, ellos no sólo perdían su flogisto, sino que también absorbían ácido pingüe en cantidades suficientes como para explicar su incremento de peso. Este argumento apareció en diferentes lugares del libro de Meyer, acompañado de un argumento que a Lavoisier le pareció atractivo: *tout ce que est corps a aussi de la pesanteur*. A pesar de que al final Lavoisier se decide en favor de Black (en que la cal viva, CaO , se consideraba simplemente como caliza privada de aire fijo, CO_2 por medio de calor), él no puede condenar como completamente absurdo lo que él mismo había creído.

En el mismo mes que Lavoisier preparó su comentario a Eller, él también escribió un corto memorando sobre la naturaleza de los elementos. Este documento ha sido, de manera incorrecta, identificado como una continuación del manuscrito de Eller. El documento aparecería con el título *Chimie sur la matière dufeu et les éléments en general* en mayo de 1766. Al analizar los planteamientos de Lavoisier escritos en este documento, se observa que su teoría de los elementos se guiaba por las lecturas de química de Rouelle. De acuerdo con esta teoría, cada uno de los principios elementales en la naturaleza (excepto la tierra) existía en dos formas, *la fija y la libre*.

Lavoisier en su escrito *Système sur les éléments* nuevamente emplea los términos elementos 'fijo y libre', pero de manera radicalmente diferente que lo planteado en las lecturas químicas de Rouelle. En el 'Système', el fuego fijo no sólo era un constituyente de una sustancia combustible (flogisto ordinario), sino que éste también entraba en la composición de los vapores y del aire (lo que sería el *calórico fijo* de Lavoisier). De esta manera, el aire no era la prolongación de un elemento, sino como un vapor compuesto de fuego (fuego fijo) unido a un fluido particular aún desconocido. Luego, Lavoisier usaría este concepto de calor latente (*o fuego fijo*) contenido en el aire para reemplazar completamente la función del flogisto en el proceso de combustión. Fuego (por ejemplo luz y calor) no vienen de quemar una sustancia por sí misma, sino del aire que le da su calor latente mientras cambia de estado.

Pero ¿qué otros científicos orientaron a Lavoisier en su camino hacia el estudio de los gases? El químico británico que influyó de manera profunda en los primeros años de la carrera científica de Lavoisier fue indudablemente Stephen Hales, quien en su *Vegetable Staticks* contiene una amplia sección sobre experimentos que intentaban probar que el aire es un constituyente de muchas sustancias orgánicas e inorgánicas. Para 1776, Lavoisier ya conocía el hecho de que el aire entraba como un constituyente

en los compuestos químicos, conocimiento que provenía por influencia indirecta de Hales. Rouelle, profesor de Lavoisier, en sus clases retomaba los experimentos de Hales usando una versión modificada del instrumento de 'recolección de gases' descrito en *Vegetable Staticks*, es decir, de la cuba neumática de la cual se hablará en detalle más adelante. La hipótesis del 'aire fijo' que Lavoisier empleó en su memorando sobre los elementos de 1766 se basó, en lo que hace referencia al aire, en los experimentos y observaciones de Hales. Lavoisier se enteró de Hales por los escritos de Eller, en donde se lo referencia junto a Musschenbroek, quien había trabajado sobre efervescencia.

Lo que Lavoisier intentaba resolver al consultar los escritos de Hales se muestra en un pequeño ensayo titulado *Recherches sur les moyens les plus surs, les plus exacts et les plus commodes de déterminer la pesanteur spécifique des fluides*, el cual trataba del análisis de una constante de inmersión del hidrómetro, la que esperaba fuera de utilidad para la medida de la densidad específica de los vinos y de otras bebidas alcohólicas comerciales. Lavoisier estuvo muy interesado en la construcción de hidrómetros. Los había utilizado para preparar su primer ensayo sobre el yeso y también para medir la densidad del agua mineral, la cual había realizado en su viaje geológico con Guettard, en 1767. En el laboratorio, Lavoisier los había usado para obtener la concentración de los ácidos. Adicional a creer que los hidrómetros serían útiles para operaciones comerciales y de laboratorio, especulaba sobre la posibilidad de que pudieran ayudar a avanzar en la teoría química al poder determinar la naturaleza de la combinación química. Sin embargo, Lavoisier nunca mencionó cómo se podría hacer, ya que contaba con el reconocimiento de numerosos hechos experimentales que no eran suficientes para la creación del modelo del fenómeno, por la obvia ausencia de procedimientos materiales básicos para desarrollar la investigación.

Luego de plantear una serie de interrogantes relacionados con la naturaleza química de las soluciones de los ácidos, los álcalis y las sales, Lavoisier fue finalmente hacia el problema del aire fijo y la efervescencia.

Uno de los logros más importantes en la revolución química fue la introducción de los gases en la química. En uno de sus primeros escritos dedicados a los gases, Lavoisier subraya la importancia de su descubrimiento. La identificación entre vapores y aires constituye la esencia de su nueva teoría de los gases. Ésta descansaba sobre la creencia de que los vapores se disolvían en fuego, una sustancia, que cuando se presentaba en cantidades suficientes, era capaz de dotar a los cuerpos de una *naturaleza aeriforme*.

Las concepciones de Lavoisier sobre la naturaleza del aire y los vapores le permitían tener una considerable ventaja sobre sus competidores científicos, los *Diferent kinds of air* de Priestley (1774). Lavoisier los consideraba como diferentes clases de vapores. De hecho, el término 'aires' era un nombre equivocado para la época, ya que no se podía entrar en su composición, no se conocían sus propiedades físicas ni químicas. Se podría llamar 'gases' (nombre creado por Van Helmont) o quizás 'fluidos aeriformes' -en razón a sus propiedades mecánicas que se parecían al aire.

Cuando Priestley realizó su experimento de óxido de mercurio, descubrió otra clase de aire, al cual llamó *aire desflogistizado*. Lavoisier, al realizar el mismo experimento descubrió oxígeno. La diferencia estriba en que Priestley definía una sustancia en términos de sus propiedades físicas (su elasticidad), mientras que para Lavoisier dicha propiedad era un 'accidente' causado por el calor, pero que en esencia era definida por la naturaleza química -su base para la combustión-producida por los ácidos. En esencia, se diferenciaba de otros fluidos elásticos en los cuales se parecía en la forma, pero diferían en la sustancia de origen.

Lavoisier planteó los principios fundamentales de esta teoría del aire en su *Système sur les éléments*, documento entregado antes de agosto de 1772 a Grandjean de Fouchy, secretario de la Academia de Ciencias, para ser reseñado y fechado.

Lavoisier dedicó cerca de la mitad de su *Système sur les éléments* a la explicación de este fenómeno en términos de una teoría que decía que el fuego era absorbido por la evaporación de fluidos y fijados a ellos por una acción de la unión química. El agua calentada al vacío era capaz de convertirse en 'fluido aeriforme'. De esta manera se planteaba una amplia porción de la teoría de Lavoisier sobre el calor latente, también como su nueva visión sobre la naturaleza del aire; así, si los vapores eran sólo fluidos aeriformes, entonces el aire era sólo *vaporiforme*. Este es el argumento central del 'Système' y de la teoría completa del estado gaseoso de Lavoisier, en la cual se percibe que había avanzado considerablemente en los procedimientos materiales y en su modelo instrumental, pero aún así el modelo del fenómeno de la combustión no era del todo consistente.

6.2. El caso de la cuba neumática

A comienzos del siglo XVII, la alquimia y la química eran términos casi sinónimos. Durante la primera mitad del siglo, los profesores de química gradualmente distinguían su asignatura tanto de objetivos alquímicos como de propósitos médicos prácticos de los farmaceutas. Ellos definen su objetivo como la separación de las sustancias en sus constituyentes más simples o principios, e identifican esos constituyentes con varias combinaciones de los elementos de Aristóteles y los principios de Paracelso. Durante este tiempo se generaron muchas críticas hacia la alquimia, y los químicos de la época se distanciaban cada vez más de su práctica, a pesar de que en sus trabajos de laboratorio utilizasen operaciones e instrumentos que se habían desarrollado en el transcurso de este período. Muchos de estos instrumentos elaborados durante la alquimia se siguieron utilizando en los siglos siguientes.

Con estos materiales, los químicos pudieron, durante los primeros dos tercios del siglo XVIII, desarrollar investigaciones orientadas ampliamente hacia el estudio de los ácidos, las bases y las sales neutras. A pesar de lo tangibles y lo perceptibles que resultan ser los estados sólido y líquido, es el estado gaseoso el que permite crear los fundamentos de la revolución química. Los estudios realizados en el campo de la química neumática afectados por Tobern Berg-man, Henry Cavendish, Karl

Scheele, Joseph Priestley y sus contemporáneos generaron el medio apropiado para la estimulación de los estudios posteriores de Lavoisier. Dichos estudios fueron posibles en la medida en que se desarrollaron algunos instrumentos científicos, tales como los generadores y colectores de gases, y la posterior cuba neumática. Así como el mechero fue el centro de todo el trabajo alquimista, la cuba neumática fue el centro de todo laboratorio químico de los gases.

Desde los griegos, el 'aire' era considerado como un elemento que constituía la materia -junto con la tierra, el agua y el fuego-, proporcionándole a una sustancia ciertas propiedades como el calor y la humedad. Así, en esta época no había por qué dudar de esto, aún más cuando las herramientas con las que se contaba eran insuficientes para hacerlo. Durante la época alquimista, el aire se observó como una sustancia elemental, más que como una simple sustancia que ejemplificaba el estado gaseoso de la materia. Van Helmont fue el primer filósofo en intentar hacer un estudio cuidadoso en torno a los gases, y algunos autores plantean que fue él quien estableció su estudio en química (Badash, 1964). Van Helmont introduce el término gas -del griego chaos- para denominar tales aires producidos químicamente:

Llamaré a este espíritu, hasta ahora desconocido, por el nombre de gas, el cual no se puede retener en recipientes ni reducido a una forma visible, a menos que el germen se extinga primero (Partington, 1961).

Van Helmont, por supuesto, fue consciente de la existencia de varias sustancias gaseosas diferentes del aire; así, él obtuvo el *gas silvestre*, el *gas pingüe* y otros tantos gases (Partington 1961). Sus estudios no tuvieron mucho éxito en razón a lo inadecuados de sus 'instrumentos'. Para intentar recolectar los gases producidos en reacciones químicas, sólo podía tapar el recipiente en el que tenían lugar las reacciones, con los inevitables y desastrosos resultados, con lo cual la palabra gas resultó bastante apropiada. El término, sin embargo, no tuvo acogida en la filosofía natural por más de siglo y medio, ya que los filósofos preferían hablar de aires; y fue tan sólo hasta los trabajos de Lavoisier que el término gas obtuvo respeto.

Hubo algo más de desarrollo, en el estudio de las sustancias gaseosas, con la creación de la bomba de aire en la segunda mitad del siglo XVII. Los estudios con la bomba de aire no se centraron en obtener una comprensión de tipo cualitativa de la naturaleza química de los gases, sino, se centraron más en los problemas físicos relacionados con la presión y el volumen y el comportamiento de materiales en espacios vacíos. A pesar de esto, Boyle y algunos de sus contemporáneos reconocieron que los gases tenían problemas de naturaleza química e intentaron estudiar este problema en lo que les fue posible. Boyle, por ejemplo, mostró que una vela u otro combustible no combustionaba cuando se extraía el aire del recipiente.

Los trabajos de Boyle, Hooke y Mayow en la respiración y en la combustión también produjeron ciertas técnicas adicionales a las realizadas con la bomba de aire (Partington, 1961). Por ejemplo, Boyle pudo 'atrapar aire' generado por la acción de un ácido sobre hierro; para esto, llenó un recipiente con aceite de vitriolo (ácido sulfúrico) y agua, adicionó trocitos de hierro y tapó la boca del recipiente, lo ubicó en

posición invertida con el cuello dentro de otro recipiente lleno del mismo líquido. Cuando el 'liquido disuelto' actúa sobre los trocitos de hierro, se forman burbujas que se ubican en la parte superior del recipiente invertido (hidrógeno); por esto, Eric Holmyard dijo que Boyle tuvo 'el germen' de la cuba neumática. A pesar de que Boyle efectivamente pudiera separar una muestra simple de hidrógeno gaseoso – el cual, de manera accidental, no diferenciaba del aire común –, este procedimiento obviamente no podría ser utilizado como método general de recolección de los gases. El principio de la cuba neumática involucra la separación de los vasos generadores de los vasos receptores o colectores, un paso que Boyle no hizo (Parascandola Ihde, 1969), con lo cual no concibió la unidad sistémica de la cuba neumática.

Un contemporáneo de Boyle, John Mayow, desarrolló otros instrumentos ingeniosos para la manipulación de los gases; Mayow con frecuencia usó recipientes de vidrio y los introdujo en otros llenos de agua, en los cuales podría 'encender' un material combustible con 'lupas de vidrio' o introducir una vela encendida dentro. El ascenso del nivel del agua, que se veía a través del vidrio, lo convencía de que el aire estaba privado de sus partículas *nitro-aéreas* y *elásticas* y así se perdía parte de su elasticidad – volumen – (Partington, 1961). La cuba de Mayow era de forma circular u ovalada, probablemente de loza, y aproximadamente de 15 centímetros de profundidad y 40 de diámetro.

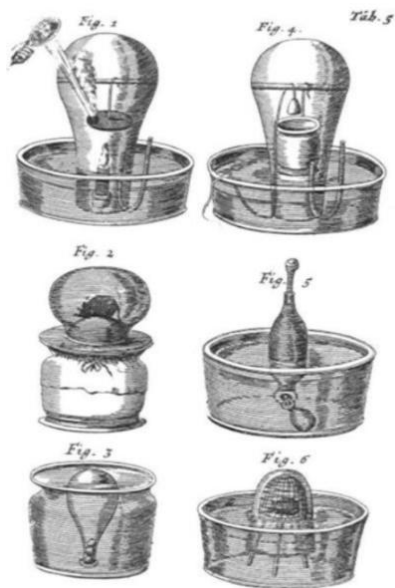


Fig 1. Instrumentos de Mayow para manipulación de gases

Otros experimentos le daban cierto convencimiento que lo mismo sucedía con la respiración. Mayow también recolectó gases con un instrumento algo similar al empleado por Boyle para recolectar hidrógeno, para lo cual diseñó un instrumento que le permitía trasvasiar gases de un recipiente a otro por burbujeo del gas bajo el agua. Hizo numerosos experimentos sobre respiración con ratones, ubicándolos en recipientes con gas e invertidos en otros que contenían agua (Figura 1).

En 1719, P. Moitrel d'Element, un físico parisino, elaboró un documento describiendo algunas técnicas para la manipulación de los gases, con el objetivo de demostrar que el aire puede ser medido y manipulado como otro fluido. Al igual que Mayow, fue capaz de transferir aire de un recipiente a otro bajo agua pero se ha señalado que no indicó ningún significado sobre recolectar aire por la separación de algún compuesto. Los aparatos empleados, fueron diseñados para separar una muestra de aire atmosférico; ningún aparato fue ideado para separar los gases producidos en reacciones químicas, excepto por la técnica de Boyle. La mayoría del trabajo fue realizado de manera cuantitativa analizando la medida del aire generada o consumida por varias reacciones; no hubo un estudio cualitativo del estudio de los

gases porque no se interpretaban a los gases como sustancias químicamente distintas. Aún se asumía que esas sustancias eran aire atmosférico con distintas variaciones de pureza, con lo cual no era necesario separar químicamente los gases generados, que no eran más que aire común, para luego estudiar sus propiedades. Al comparar los aparatos de Priestley y Mayow hay grandes diferencias – no solo por la diferencia de tiempo de casi 100 años – porque las modificaciones surgieron, en primer lugar, de mejoras originales basadas en el uso y, segundo, por el hecho de que los filósofos no pudieran comprar todo el equipamiento de los fabricantes de instrumentos quienes producían los productos estandarizados (Badash, 1964).

Generalmente se asume que Stephen Hales inventó la cuba neumática específicamente para la separación de los gases en estado puro. Sin embargo, el mismo Hales no distinguía entre los diferentes 'tipos de aire' que se generarían por el calentamiento de sustancias o la fermentación de otros productos. Pero Hales ya había ideado y usado otro tipo de instrumentos, los cuales servían para este propósito de manera satisfactoria antes de que el desarrollara la cuba neumática. Surge así el interrogante: ¿Porqué gira hacia el diseño de una idea que lo haría tan famoso? . M. A. Hoskin (Parascandola y Ihde 1969) menciona que la cuba de Hales fue 'una idea esencialmente para lavar su aire'.

En la figura 2 se muestra un aparato del *Vegetable Staticks*, en el cual aparecen dos piezas que usaba comúnmente. La sustancia a calentar se ubica en la retorta. Si el aire se conduce por el calentamiento, entonces el aire baja el nivel del agua del sifón. El cambio en el nivel es así una medida de la cantidad de gas producido o absorbido.

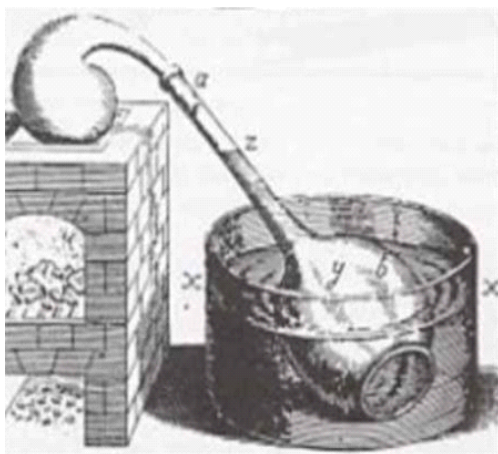


Fig 2. Instrumento de Hales para medir la cantidad de gas absorbido y producido

La figura 3 muestra el instrumento de pedestal de Hales, con este equipo Hales podría tener una estimación de la cantidad de aire absorbido y fijado o generado por una vela, azufre o nitro, o por la respiración de un animal vivo. El animal o vela se ubica sobre la plataforma, y entonces algo de aire se remueve del recipiente con un sifón para que el nivel llegue a zz. Así, la subida o descenso del nivel del agua era una medida de la 'absorción o generación de aire'. Algunas sustancias podían ser encendidas con una lupa.

Hales uso sus ideas y modificaciones de muchos de sus experimentos descritos en *Vegetable staticks*. El mencionaba en el experimento 76:

“Una buena parte del aire que ha ascendido a partir de varios cuerpos por la fuerza del fuego, fue perdiendo su elasticidad, al dejarlo en reposo por varios días; la razón por la cual los humos del ácido sulfúreo subieron con el aire, se reabsorbieron y fijaron a las partículas.”

La razón por la cual el aire perdía su elasticidad (pierde volumen) era por supuesto, que los gases solubles se disolvían en el agua. Pero Hales no distinguía ningún tipo de esos gases del aire común y así no tenía ninguna razón para sospechar la existencia de diferencias de solubilidades. Culpó del encogimiento a la reabsorción de la 'elasticidad de las partículas de aire' por los 'humos de ácido sulfúreo' generados en el proceso. Así, razonó que si podía

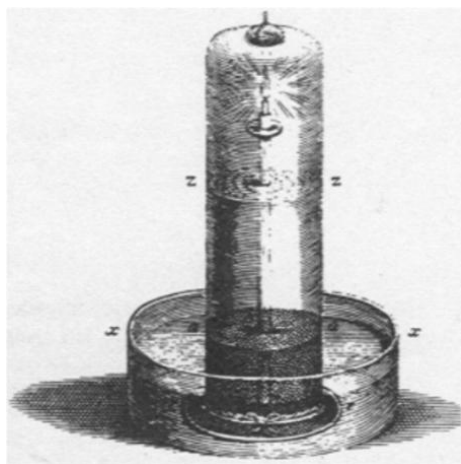


Fig 3. Instrumento de pedestal de Hales

remover esos humos, su 'aire' no perdería elasticidad. En el siguiente párrafo (experimento 77), Hales nos dice su método para resolver el problema de la 'pérdida de la elasticidad del aire':

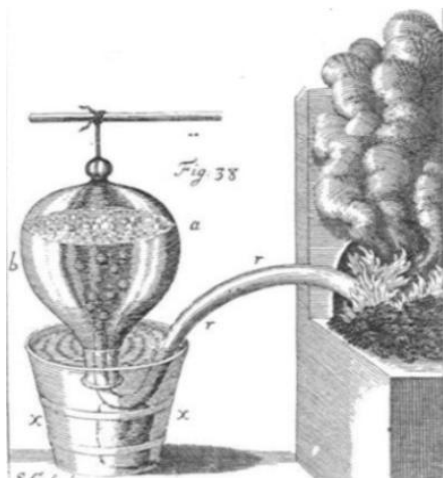


Fig 4. Cuba neumática de Hales

“Para prevenir esto he usado el siguiente método de destilación. Fijé un sifón de plomo a la nariz de la retorta rr; y entonces he introducido el sifón en el recipiente de agua xx, en el otro lado abierto del sifón ubiqué el receptor químico ab el cual estaba lleno de agua; así, el agua que subió en la destilación, pasó a través del agua de abajo hacia la parte superior del colector ab, una buena parte del espíritu y de los humos del ácido eran así interceptados y retenidos en el agua; la consecuencia era que el nuevo aire generado continuó en un estado elástico de forma más permanente, muy poco de este perdía su elasticidad, no por encima de 15 a 18 partes y principalmente en las primeras 24 horas; luego lo restante continuó en un constante estado elástico...” (Hales 1969)

En un intento por remover los 'humos' no deseados de su 'aire', Hales separó el generador del colector y nos dio la *cuba neumática* (Fig 4). Accidentalmente, fue afortunado al tener un gran alcance en su propósito de prever la pérdida de elasticidad de su aire generado, indudablemente porque en el paso del mismo a través del agua, la mayoría de la fracción soluble se disolvería en el proceso. En las ideas previas de Hales, el 'aire' era generado sobre agua, y entonces la fracción soluble se disolvía lentamente, causando la disminución en el volumen.

El valor de la *cuba neumática* como un instrumento científico para la recolección de gases puros no se reconoció hasta después del trabajo de Joseph Black sobre Magnesia Alba (1755). Black en su demostración señaló que el 'aire fijo' era químicamente una sustancia diferente, distinguible por sus propiedades del 'aire común', claramente estableció la necesidad de técnicas para la separación de gases producidos químicamente. Los químicos reconocieron la necesidad de estudiar las propiedades de los gases generados en sus reacciones para identificarlos: quizás hubo otras clases de gases además del 'aire fijo' y del 'aire común'.

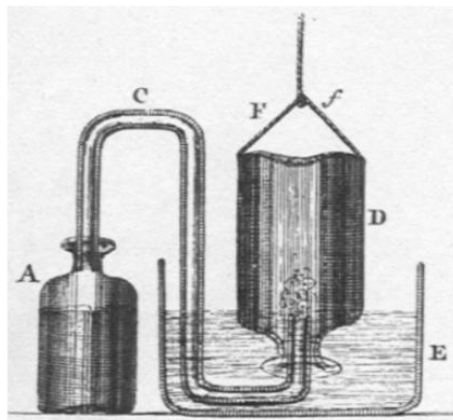


Fig 5. Cuba de Cavendish para la recolección de un gas

Henry Cavendish, de hecho también separó una 'tercera clase de aire' (hidrógeno), el primero de muchos gases descubiertos con la ayuda de la cuba neumática (fig 5). La cuba de Cavendish era esencialmente la misma que la diseñada por Hales, pero él fue el primero en reconocer su valor en la separación de los gases para hacer estudios cualitativos. Describió su uso como sigue:

Para llenar una botella con el gas producido a partir de los metales o sustancias alcalinas por solución en ácidos, o de animales o sustancias vegetales por fermentación, hago uso del dispositivo representado en la figura 1 donde A representa la botella, en la cual se ubican los materiales para producir el aire; teniendo un tubo de vidrio doblado C se introduce en este, de la forma de un tapón. E representa un vaso de agua. D la botella que recibe el aire, la cual primero es llenada con agua, y entonces invertida dentro del vaso de agua sobre la parte final del tubo doblado. F representa la cuerda, por la cual se sostiene la botella.

Cavendish también observó que mientras el 'aire fijo' era bastante soluble en el agua, este podía ser almacenado en mercurio de manera indefinida sin ser absorbido. Reconoció que si se quería 'recolectar aire fijo' cuantitativamente, no debería hacerse sobre agua. Con el ánimo de recolectar cierta cantidad de aire fijo para determinar la solubilidad en agua, Cavendish consecuentemente *sustituyó el agua por el mercurio en la cuba*. Esto era un paso importante porque significaba que gases extremadamente solubles en agua podían ser separados con la ayuda de la cuba neumática. Sin embargo, Cavendish no capitalizó su innovación. Fue Priestley quien explotó ampliamente la innovación y separó un grupo nuevo de gases solubles en agua, incluyendo el sulfuro de hidrógeno, el cloruro de hidrógeno, el amoníaco y el dióxido de azufre. Priestley hizo de esto una regla general en la recolección de los gases solubles en agua.

Ambos instrumentos, tanto el de Hales como el de Cavendish, requirieron que el frasco colector se suspendiera de una cuerda. Pero en 1765, el año antes de que el experimento mencionado arriba y producto del trabajo de Cavendish, fuera publicado, William Brownrigg un físico inglés, publicó un artículo en el cual describía un tipo de cuba neumática la cual tenía un soporte para sostener el frasco receptor (fig 6). Brownrigg, un físico inglés que recibió la medalla de la *Royal Society* por sus

investigaciones sobre el aire producido por aguas termales y quien trabajo con Benjamín Franklin, el primero en usar una estructura de madera para soportar sus botellas. Es uno de los pocos químicos que realizó sus dibujos en perspectiva. Brownrigg al estudiar aguas minerales mostró que esas aguas contenían 'aire fijo'. Observó que podía usar su instrumento principalmente para transferir 'aire fijo' o 'aire común' de un recipiente a otro. Generalmente recolectaba el aire fijo por calentamiento de un tubo pequeño el cual contenía agua mineral y tenía atado a su cuello una vejiga – recipiente de piel – (fig 6-1), en donde el gas era recolectado. Las vejigas se emplearon de manera cotidiana por los químicos que trabajaban los gases, pero la desventaja era la de remover el aire atmosférico. Cuando



Fig 6-1

Brownrigg quería trasvasiar el gas obtenido a partir de las aguas minerales, simplemente invertía el tubo pequeño y así el aire que se encontraba en la vejiga desplazaba cierta cantidad de agua del tubo (fig 6-2). Los recipientes pueden ser sostenidos por un soporte y en algunos casos usando *cuñas* para ajustarlas a los orificios. Así, se observa que Brownrigg aún sin usar la cuba para producir y recolectar gases, fue el creador del soporte.

Tobern Bergman usó una cuba similar a la de Hales y Cavendish en un trabajo que comenzó en 1770 pero que no se publicó hasta 1774 (Partintong 1961). Introdujo un soporte (fig 7) similar al empleado por Brownrigg, pero con la intención de 'impregnar el agua con aire fijo' más que para recolectar los gases.

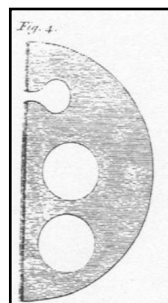


Fig 6-2

El soporte de Bergman, al igual que el de Brownrigg, estaba por arriba del nivel del agua. La versión de Priestley de la cuba neumática, tenía el soporte por debajo del nivel del agua, y describe su instrumento *como nada diferente de los aparatos de los doctores Hales, Brownrigg, y el señor Cavendish, combinados y contruidos de una manera un poco más sencilla* (Priestley 1774). Asignó el crédito para el soporte al Duc de Chaulnes (fig 8):

La figura representa el soporte en el cual he ubicado las jarras de mi cuba de agua, y en la cual he seguido el esquema del Duc de Chaulnes, con una pequeña adición. Se ha construido para ser fijado a alturas más altas o más bajas del nivel del agua, como se requiera según la ocasión, consta de tres piezas de cobre o hierro dobladas sobre las cuales se suspende; tiene pequeñas cuñas, o piezas de madera de diferentes tamaños sobre los cuales descansa. El soporte tiene una pulgada y media de grosor, por conveniencia de excavar en la parte inferior orificios en forma de embudos, los cuales son de ¼ de pulgada de diámetro aproximadamente, y aparecen en la parte superior, de la forma y tamaño de la cavidad debajo expresada por los puntos que aparecen por encima.

Esta última idea de las perforaciones para los embudos él la describe como *an ingenious contrivance of the Duc de Chaulnes*. Cuando Priestley comenzó sus investigaciones en Leeds usó cubas de barro. Luego trabajó con una cuba elíptica, de aproximadamente 20 centímetros de profundidad, la cual era también de loza. Piedras lisas y delgadas se usaron para mantener sumergido un soporte. Esto resultaba poco adecuado, con lo cual se construyó una en madera, la cual tenía la misma forma elíptica pero era de 28

centímetros de profundidad, 61 centímetros de largo y 46 centímetros de ancho. Algo importante, era que contaba con un soporte en madera. Priestley era poco preocupado y no tan exigente en algunos aspectos del montaje, por ejemplo, no se preocupaba por los niveles de agua (Priestley 1774). Inclusive en 1777, usó un tazón, luego una caja de madera de 18 por 8 por 8 cm., con una base cilíndrica que decrecía su volumen hacia el interior (Priestley 1774).

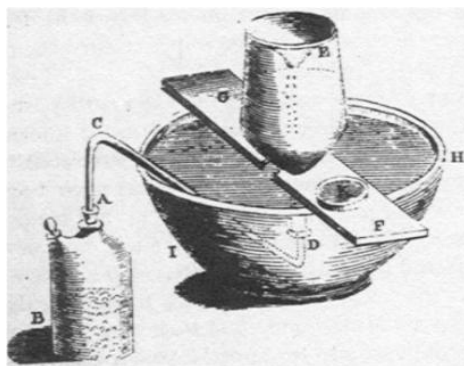


Fig 7. Cuba pneumática de Bergman

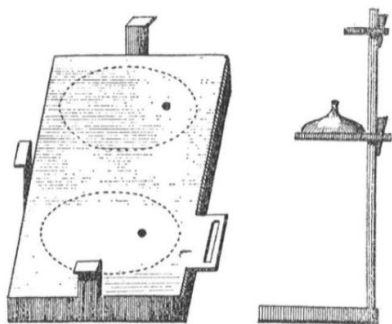


Fig 8. Soporte de Priestley

Priestley explotó ampliamente el uso del mercurio en la cuba, además su cuba pneumática es esencialmente de la química moderna, siendo muy fructífero el uso que le dio; fue Priestley quien la utilizó para separar y estudiar más gases nuevos que nadie hasta ese momento. Fue el primero en recolectar gases sobre mercurio, podía recolectar cloruro de hidrógeno soluble en agua, dióxido de azufre, amoníaco y óxido nitroso (Priestley 1774).

En resumen, se observa como el desarrollo de la cuba pneumática ha sido el resultado de un largo proceso en el cual algunos de los más importantes pasos fueron hechos por 'razones equivocadas'. La atribución de la invención a Boyle o a Mayow es claramente incorrecta ya que la definición de cuba está limitada únicamente a su función de recolección. Para estar seguros, generaban hidrógeno en sus instrumentos, pero se equivocaban en separar la recolección de la operación de generación y así no desarrolló un instrumento de una utilidad general mucho mayor. Hales claramente separó la operación de recolección de la generación del gas, a pesar del hecho de estar buscando información más de tipo cuantitativa que cualitativa. Sus amplios estudios de la 'cantidad de aire fijo' conducida a partir de varios minerales y materiales biológicos no tuvieron influencia en el subsecuente desarrollo de la química o la física. A pesar de que algunos piensen que formulaba las preguntas erradas, desarrolló un instrumento científico muy importante y trascendental para el desarrollo de la ciencia.

Al analizar las actividades de Hales, de manera minuciosa, se observa que no solo hacía las preguntas equivocadas, sino que modificó su aparato de recolección por razones equivocadas. De hecho, en el cambio de la figura 2 a la figura 4, Hales deseaba remover inmediatamente los 'humos de ácido sulfuroso', sin la subsecuente manipulación del gas recolectado. Los gases recolectados en instrumentos más antiguos, implicaban tan solo una manipulación como de algo molesto. Los gases recolectados en el recipiente invertido mostrados en la figura 4 estaban ya pensados para una futura manipulación, como lo reconocen Cavendish y Priestley.

El crédito del soporte claramente lo tiene Brownrigg, el crédito del uso de la cuba neumática, tanto para la generación como recolección, Cavendish; pero fue Priestley quien explotó la cuba neumática lo más cerca de sus potencialidades.

Al analizar el estudio de los gases, se observa la manera como los químicos del siglo XVIII partieron por la construcción de los instrumentos para recolectar, analizar y separar los gases producidos durante diferentes tipos de procesos químicos. En un comienzo no los tenían en cuenta para nada, inclusive no los diferenciaban del aire, llamándolos vapores, y luego a partir de una equivocada interpretación de que se podía *lavar su aire*, es decir, limpiarlo de impurezas producidas por otros aires, surge un instrumento que cambiaría la interpretación del estado gaseoso básico para la comprensión del cambio químico.

Lo que en un comienzo era una serie de hechos experimentales aislados, en relación con la producción de gases, se convierte en un procedimiento material organizado en la medida en que se construyen una serie de instrumentos y formas de trabajar con los gases desde su generación (por calentamiento de sustancias, reacciones entre ellas, fermentaciones, etc.). Poco a poco se construye el *modelo instrumental*, en la medida en que se diseñan instrumentos, se le hacen modificaciones y ajustes, se planifica la manera de emplearlo hasta su optimización de uso, estudiando las variables que condicionan los mejores formas de recolectar los gases con mayor nivel de pureza. Es en este momento cuando los hechos experimentales se comienzan a convertir en hechos significativos sobre ese mundo del fenómeno de los gases, como fenómeno natural. Pero la creación del *modelo del fenómeno* no lo desarrollarían ellos sino que tendría que construirse después, hasta que se identificaran claramente los gases como sustancias. Vemos pues, como a partir de la estructuración del procedimiento experimental se va construyendo el modelo instrumental, para concluir en el modelo del fenómeno, los cuales evolucionarían continuamente para generar a su vez la comprensión de otros fenómenos tan importantes como lo es el cambio químico.

7. Implicaciones didácticas en el conocimiento científico escolar

Al hablar de la relación de la historia y la filosofía de la ciencia con la didáctica de las ciencias se debe pensar en una mirada contemporánea para poder observarla de una manera diferente a la tradicional, se debe observar la producción científica de una forma distintiva, más crítica, reflexiva, valorativa, social y productiva; es decir,

debemos observar la ciencia misma como una actividad humana (García-Martínez e Izquierdo, 2104). Y para hacer esto se requiere tomar una posición de la ciencia y de lo que se enseña en la escuela diferente a lo que se realiza en la actualidad. Al hablar de ciencia escolar (Izquierdo, 2000 y 2003) se quiere plantear la ciencia desde una postura de las personas; hay que pensar que esto lleva consigo ciertas consecuencias, y una de ellas es que las personas trabajan en colectivos bajo unas bases sociales que determinan su actuar diario. De tal manera que se desborda el alcance de la epistemología y se requiere hacer uso de la axiología (sistema de valores que justifica las acciones humanas). Es de esta forma que consideramos al profesor como aquel individuo que desarrolla su acción docente en el aula, pero que la misma está guiada por un trabajo cooperativo con el colegiado de profesores de su área y de la institución, con el fin de mantener un intercambio de pares académicos en una actividad de innovación e investigación permanente cuyo objeto de estudio es el mejoramiento de la acción docente para un buen aprendizaje de los estudiantes.

Para comprender mejor esto se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Las *teorías científicas*, son adecuadas a la acción tecnocientífica que plantea la teoría como acción, con lo cual se dificulta el analizar la relación teoría y experimentación, frente a lo cual Hacking (1983) plantea que la ciencia no puede reducirse sólo a las teorías científicas, sino que la práctica experimental es esencialmente un modo de intervención tecnológica. De esta manera, se plantea que los estudios sobre la ciencia también se dirigen hacia lo que los científicos hacen en los laboratorios y la manera como actúan allí.
- Los *procesos de cambio* son complejos e incluyen construcción de nuevas representaciones, uso de nuevos recursos retóricos, las nuevas posibilidades de mejorar la difusión, entre otros (Pickering 1992).
- Las *ciencias son siempre enseñables* y acaban siendo ciencia escrita.

La ciencia al ser considerada como actividad humana, requiere del estudio de los valores en su momento histórico, lo cual determina también su epistemología.

Si se plantea que el estudio de la actividad científica no solo se limita a las teorías científicas sino también de la práctica experimental y de los instrumentos, vemos que se requiere de una buena preparación del profesorado en el trabajo de laboratorio. Esta es una debilidad sentida del colectivo docente, ya que durante su formación se realizan una serie de experiencias que no se relacionan de manera directa con lo trabajado en teoría, de igual manera el trabajo de laboratorio es orientado bajo una perspectiva de las llamadas 'recetas', en las cuales se establecen todas las indicaciones de lo que debe y no debe hacer el estudiante sin permitir crear la actitud de autonomía tan necesaria al momento de actuar en el laboratorio. De igual manera no se permite que el individuo se formule cuestionamientos sobre lo que se espera que haga sino que lo que se busca es que el trabajo sea desarrollado según presupuestos establecidos. Es decir, no se permite la formulación de hipótesis ni la formulación de trabajos alternativos a la guía prediseñada. De igual manera, en razón a que el profesorado se limita mucho a dar sus clases de forma magistral, ha medida que va pasando el tiempo va perdiendo la habilidad para trabajar y organizar la actividad

experimental y en razón al número, cada vez menor, de horas para su asignatura termina enseñando de una manera eminentemente teórica una ciencia experimental por naturaleza.

Al analizar estos planteamientos en el contexto escolar se debe tener en cuenta que educar científicamente es preparar para ejercer, o para comprender la actividad científica, de tal manera que las ciencias deben tener objetivo, método y campo de aplicación, conectando los valores de alumnado y del profesor mismo con los objetivos de la escuela. Por otro lado, la ciencia es actualmente un aspecto de la cultura de toda la población. El reto es que enseñar y aprender ciencias constituya una actividad escolar que propicie la construcción de conocimientos dinámicos, que pueda transformar también el mundo haciéndoles capaces de intervenir también en el y tomar decisiones de manera responsable.

Se requiere de una ciencia escolar que se fundamente en el pensamiento crítico, una ciencia de la complejidad que no deje de lado los problemas propios de la sociedad actual. Se pretende que la ciencia se dedique a lo que tiene valor para la sociedad y en general para la vida humana; esto implica pasar de un problema científico a un problema social, de un interés particular a un interés social, del aislamiento al trabajo cooperativo, del pensamiento a la acción, del conocimiento enciclopédico a la comprensión. Solo de esta manera es posible hablar de una ciencia educadora. Se requiere de una ciencia que se preocupe más por problematizar que por buscar la respuesta y que resalte el papel del proceso más que del resultado. Cuando los estudiantes realizan un trabajo práctico de laboratorio comienzan a cuestionarse sobre lo que observan o perciben mediante los sentidos, a preguntarse y a preguntarle a sus compañeros sobre lo sucedido, pero de igual manera se requiere que ellos escriban lo que opinan, que escuchen y discutan los diferentes puntos de vista. De esta manera se pueden contrastar y evaluar la evolución de sus ideas, permitiendo que se genere un verdadero aprendizaje (Sanmartí, 1996). Pero para que esto se de, se requiere que las actividades que se le planteen a los estudiantes los cuestionen y los ubiquen en una actitud de reflexión, de análisis y de crítica, con lo cual, el planteamiento de problemas abiertos es una buena estrategia para lograr este fin (García et. al., 2002). Mediante este tipo de situaciones se pretende que el estudiante diferencie los contextos en los cuales se desenvuelve y el tipo de lenguaje que emplea en cada uno, mas adelante se describe como hacerlo.

Los profesores y profesoras tienen una gran responsabilidad en esto, ya que al organizar los contenidos a desarrollar mediante *actividades problémicas de aula* que se relacionan con la vida diaria y con el desarrollo de la sociedad permite que los estudiantes establezcan conexiones entre lo que se aprende en la escuela y lo que se vive fuera de ella. Sólo se puede aprender bien aquello que se aplica, ya que es en la situación diferente al ejemplo prototipo, donde se pueden aplicar los conocimientos que se han visto en el aula. Y esto solo se puede realizar en la medida en que el profesor enseñe a tomar decisiones, a analizar las variables de una situación, a categorizarlas, a diferenciarlas y estudiarlas de manera independiente en un trabajo experimental (García, et al 2002), a crear los instrumentos que permitan verificar y contrastar las

hipótesis del estudiante y a promover un diseño experimental que oriente el trabajo experimental y el cual está fundamentado en modelos del fenómeno y modelos instrumentales.

La ciencia escolar debe conseguir que el estudiante reconstruya una relación dialéctica entre los hechos y las teorías, de tal manera que use los modelos teóricos para representar y darle sentido a los datos que se obtienen de los hechos del mundo, y utilizar los hechos experimentales del mundo para darle sentido a los modelos de los fenómenos del mundo que les ofrecen los textos, las enciclopedias y en general todas las fuentes de información a la que tienen acceso. Pero es importante destacar que tanto los unos como los otros (hechos experimentales y teorías) han sido seleccionados y estudiados por el profesor como pertinentes y propicios para desarrollarse en clase, de acuerdo a los objetivos, a los requerimientos cognitivos y formativos, y también a las habilidades cognitivo lingüísticas que requieren se desarrolladas.

Los modelos teóricos son las entidades principales, evolutivas, a partir de las cuales se estructura el conocimiento científico escolar. De acuerdo a Giere, los modelos y los hechos interpretados por ellos constituyen las teorías. Al establecerse una relación dialógica entre la teoría y la práctica se puede hablar de una *práctica teórica* como lo es la ciencia. Pero lo que se pretende es que el profesorado se soporte en los estudios de la historia de la ciencia para que le ayude a tomar decisiones frente al qué enseñar, estableciendo criterios que le permitan generar en los estudiantes posturas sobre cómo se construyeron los conocimientos y no solo los conocimientos mismos, es decir una postura desde la propia epistemología. Los estudios sobre la nueva historia y filosofía de la ciencia dan luces de cómo organizar los contenidos en la programación curricular.

Lista de referencias bibliográficas

- BADASH, L. (1964). Joseph Priestley's Apparatus for Pneumatic Chemistry. *Journal of the History of Medicine*. Vol. 19, pp. 139-155.
- BOYLE R. (1664). *Some Considerations Touching the usefulness of Experimental Natural Philosophy*. Oxford, Book II, pp. 18-29. En: Warner D. 1990, What is a scientific instrument, when did it become one, and why? *British Journal of History Science*, 23,83-93.
- DAUMAS, M. (1972). *Scientific Instruments of the Seventeenth and Eighteenth Centuries*. New York. Parte II, Cap. IV. The collections of Philosophical Instruments.
- DONO VAN, A. (1996). The chemical revolution and the modern image of science. En: Izquierdo, M. (Coord.) *Lavoisier i els orígenes de la química modern, 200 anys després (1794-1994)*. Barcelona: Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica.
- GARCÍA, M. A. Y BERTOMEU, J.R. (2001). *La Revolución Química. Historia y Memoria de la Química*. Seminario de trabajo en Historia y Didáctica de las ciencias. Bogotá.

- GARCÍA, M. A; DEVIA, A. Y DÍAZ-GRANADOS, C (2002). Trabajos prácticos en la enseñanza de las ciencias naturales. En: Adúriz-Bravo, A; Perafán, G. y Badillo, E. (Eds). Actualización en didáctica de las ciencias y las matemáticas. Bogotá: Magisterio.
- 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. 265-28.
- GIERE, R. (1998). *Explaining Science: A cognitive approach*. Chicago: University of Minnesota Press.
- GOUGH, J. (1971). *The foundations of modern chemistry: The origin and development of the concept of the gaseous state and its role in the chemical revolution of the eighteenth century*. Cornell University. Ph. D. Thesis.
- HACKING, I. (1983). *Representing and Intervening*. Cambridge University Press.
- HACKING, I. (1992). *The Self-Vindication of the Laboratory Sciences*. En: A. Pickering (ed.) *Science as Practice and Culture*. Chicago, The University of Chicago Press.
- HALES, S. (1969). *Vegetable staticks, or, an account of some statical experiments on the sap in vegetables being an essay towards a natural history of vegetation also, a specimen of an attempt to analyze the air, by a great variety of chymiota*. New York. Readex Microprint.
- HELDEN, A. Y HANKINS, T. (1994). Instruments in the History of science, *Osiris*, 9, 1-243.
- HÖTTECKE, D., & SILVA, C. C. (2011). Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. *Science&Education*, 20(3-4), 293-316.
- IZQUIERDO, M. (2000). Fundamentos epistemológicos de la didáctica de las ciencias. En: Perales y Cañal (Eds). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.
- IZQUIERDO, M. Y ADÚRIZ-BRAVO, A. (2003). Epistemological Foundations of school science. *Science & Education*, 12:27-43.
- KOYRE, A. (1943). Galileo an the scientific Revolution of the seventeenth century. The philosophical. Review. En: Helden, A. y Hankins, T.L. (1994), *Ins-truments in the Histon/ of science*, *Osiris*, 9, 1-243.
- MAXWELL, J. (1876). General Considerations Concerning Scientific Apparatus. En: Warner D. 1990, What is a scientific instrument, when did it become one, and why? Madrid. *British Journal of History Science*, 23,83-93.
- MEDINA, M. (2002). *Tecnografía: filosofía de la ciencia y la tecnología como sistemas culturales*. Universidad de Barcelona.
- PARASCANDOLA, J. & IHDE, A.J. (1969). History of the Pneumatic Trough. *Isis*, 55,351-361.
- PARTINGTON, J. (1961). *A History of Chemistry*. London: Macmillan, Vol. II.
- PICKERING, A. (1989). Living in the material world, En: Gooding, Pinch y Schaffer (Eds). *The uses of experiment*. Cambridge, The Cambridge University Press.
- PICKERING, A. (1992). From Science as Knowledge to Science as Practice. En Pickering, Andrew. (ed.), *Science as Practice and Culture*. Chicago: The University of Chicago Press.

PICKERING, A. (1993). The Mangle of Practice: Agency and Emergence in the Sociology of Science. *American Journal of Sociology*, 99, 3.

PICKERING, A. (1995). *The Mangle of Practice: Time, Agency & Science*. Chicago, The University of Chicago Press.

PRIESTLEY, J. (1774). *Experiments and Obsevation on diferent kinds of air*. 3 vol. London.

REPORT NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (1884). Report on Customs Duty on Phüosophical and Scientific Apparatus. pp. 65-67.

RHEINBERGER, H. (1997). Toward a history of epistemic things: Synthesizing proteins in the test tube. Stanford University Press, 325 (citado por Bertomeu y García 2001).

SANMARTÍ, N. (1996). La lengua como instrumento de aprendizaje. *Alambique*. Textos de didáctica de la lengua, N° 8, abril.

SCHAFFER, S. (1983). Natural Philosophy and Public Spectacle in the Eighteenth Century. *History of Science*. 21. pp. 1-43.

SENDRA, C; CÁATALA, J.; GARCÍA, A.; BERTOMEU, J. (2002). Los instrumentos científicos de la Universidad de Valencia: primeros resultados de un catálogo de la cultura material de la ciencia. Universidad de Valencia.

SHAPIN, S. & SCHAFFER, S. (1985). *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the experimental Life*. Princeton University Press.

WARNER, D. (1990). What is a scientific instrument, when did it become one, and why? *British Journal of History Science*, 23, 83-93.

Capítulo 6

¿Qué sentido tiene la naturaleza de la ciencia y la historia de la ciencia en la formación ciudadana y valórica de un ser planetario?

Silvio Fernando Daza Rosales.

Instituto Universitario de la Paz - UNIPAZ
Colombia

José Rafael Arrieta Vergara.

Instituto Universitario de la Paz - UNIPAZ
Colombia

Enrique Luis Muñoz Velez.

Instituto interncional de estudio del caribe
Colombia

Índice

Resumen

1. Introducción

2. La necesidad de educación científica en la formación ciudadana y valórica en lo planetario

3. ¿Qué naturaleza de la ciencia sería pertinente en la formación ciudadana y valórica?

4. Lo educativo en el aula y la comprensión la naturaleza de la ciencia como componente valórico

5. ¿Cuál es papel de la historia de la ciencias en la formación ciudadana y valórica?

6. Consideraciones finales

Lista de referencias bibliográficas

Resumen

Parece ser que en el proceso de formación de ciudadanos para el siglo XXI, no es suficiente la enseñanza de conceptos y teorías, como verdades acabadas; se debe ir un poco más allá y esto solo es posible si se contextualiza la enseñanza y se tiene en cuenta la manera como esta fue elaborada y cuál fue el papel histórico que cumplió en la sociedad determinada. Se debe considerar que la ciencia es una construcción humana y que es inherente a la cultura de cada sociedad y su papel ha incidido en la

forma como nos vemos, actuamos y nos relacionamos como los demás y esto, lleva a que la nueva enseñanza debe promover un escenario de construcción de conocimientos donde se promueva una formación ciudadana rica en valores. Debe dejar de priorizar los contenidos conceptuales regidos por la lógica interna de la ciencia y hacer énfasis sobre qué es la ciencia, su funcionamiento interno y externo, cómo se construye y desarrolla el conocimiento que produce, los métodos que usa para validar este conocimiento, los valores implicados y su relación con la sociedad.

1. Introducción

Enseñar ciencias para (Aduriz-Bravo, A y Ariza, Y, 2013), no comporta únicamente “enseñar las teorías” de algunas disciplinas científicas, sino los modos de elaboración del conocimiento, los cambios de las teorías en el tiempo, y la manera en que ellas se relacionan con la sociedad en sus época. Su enseñanza juega un papel fundamental en la apropiación crítica del conocimiento y la generación de nuevas condiciones y mecanismos que promuevan la formación de nuevas aptitudes hacia la ciencia y el conocimiento científico.

Dicha situación requiere generar nuevos escenarios en los procesos de construcción de conocimiento que apunten a una alfabetización científica e incluyan una mejor comprensión de los aportes de la historia de la ciencia, la naturaleza de la ciencia y la tecnología. Esto ayudaría tanto a científicos como no científico, profesores y estudiantes, a comprender una época de cambios acelerados de crecimiento vertiginoso del conocimiento científico y a la adopción masiva de innovaciones tecnológicas ocurridas durante el siglo XX, y la primera década del siglo XXI, que han tenido y tienen una fuerte influencia sobre nuestros estilos de vida y nuestro propio bienestar (Daza, 2013).

Estos avances han promovido cambios en la manera de vernos como personas, de pensar, de comunicarnos, de trabajar y de un profundo cambio en nuestra ubicación e interacción con nuestro planeta. Además no podemos desconocer, desde hace algunas décadas se viene llamando la atención acerca de la situación de auténtica emergencia planetaria en la que estamos inmersos (Bybee, 1991). Una situación que amenaza con el colapso de las sociedades humanas (Diamond, 2006), e incluso con una sexta gran extinción de especies, de la que los seres humanos seríamos a la vez causantes y víctimas (Lewin, 1997; Broswimmer, 2005), pero a la que los educadores, en general, no hemos prestado la debida atención, pese a reiterados llamamientos de expertos e instituciones.

En concordancia el futuro del planeta, su humanidad y su naturaleza, se halla en riesgo e incertidumbre. Por consiguiente, se hace urgente y necesario, un replanteamiento y redimensionamiento, en las nuevas manera mirar, con los nuevos aportes de la didáctica de la ciencia a la educación científica la inclusión de un ciudadano con ciudadanía valórica.

A lo largo de las dos últimas décadas (Gil, D y Vilches, A, 2006), dicen que se han multiplicado los esfuerzos de diversos organismos ,en conferencias internacionales, Unesco, Council of the Ministers of Education of the European Community, Organización de las Naciones Unidas (ONU), Organización de Estados Iberoamericanos (OEI) y otros– para que los educadores contribuyamos a que los ciudadanos adquieran una correcta percepción de los problemas y desafíos a los que se enfrenta la vida en nuestro planeta y puedan así participar de manera racional y razonable en la necesaria toma de decisiones fundamentadas.

Las finalidades "renovadoras de la educación", que se han ido dibujando en el último cuarto del siglo XX y continúan afinándose en el siglo XXI, se dirija a que el estudiantado dé sentido a algunos fenómenos relevantes del mundo real, tome contacto con productos intelectuales valiosísimos del acervo cultural humano, emita juicios de valor sobre la actividad científica con sus alcances y sus límites, y tome decisiones "informadas" en materia sociocientífica (Aduríz y Ariza, Y, 2011).

Paralelamente en el mundo globalizado en el que habitamos, las sociedades han comprendido la necesidad de fortalecer en su población habilidades, conocimientos, valores y actitudes que le permitan un mejor posicionamiento y participación social, enfrentando de manera competente las oportunidades y retos que se presenten(Daza, S; et al 2011).

Esto incluye fortalecer la formación en la cultura de pensamiento científico, en la contribución de sujetos competentes en una ciudadanía responsables que viven y se desenvuelven en una sociedad cada vez más compleja, en la que la ciencia y la tecnología ocupa, sin duda, un lugar fundamental en sus vidas. Es decir, la dinámica desde la ciencia como hecho cultural, es formar sujeto competente que se constituye como actor y agente particular de la acción ajustada inteligentemente a las circunstancias, capaz de adaptar o ajustar el contexto a sus necesidades, y con un pensamiento capaz de identificar situaciones problemáticas y de abordarlas con la conciencia de los recursos propios que constituyen su perfil personal de actuación. Como señala (Izquierdo, 2006),

"la auténtica educación científica debe capacitar para la crítica y debe permitir que los jóvenes consideren que su intervención en la sociedad es necesaria y va a ser posible en una perspectiva de cambio para mejorar colectivamente y poder vivir de la manera más feliz y humana posible."

Dichos aportes y perspectivas creativas e innovadoras se enmarcan desde los referentes teóricos del constructivismo, para el mejoramiento de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, en el cual involucra a la epistemología, la historia y la sociología como estructura interdisciplinaria y metateórica de la naturaleza de la ciencias, adecuada, para construir una ciencia escolar encaminada hacia el mejor cumplimiento de los actuales retos de la educación científica de una ciencias para todos.

Por lo tanto los objetivos de la educación en ciencias estaría, desde una perspectiva eminentemente emancipadora, democratizadora, solidaria y crítica (AAAS., 1989); (Millar, R. & Osborne, J., 1998). Para (Aduriz,B y Daza,S., 2012), estamos necesitando usar un modelo epistemológico más elaborado que tenga en cuenta, además de la dimensión social, las dimensiones epistémica (del conocimiento en sí), cognitiva (de las representaciones mentales), praxiológica (de las acciones), semiótica (de los sistemas de símbolos) y axiológica (de los valores).

Para esto la historia de las ciencias y de la epistemología juegan un papel fundamental en la enseñanza de ciencias y para (Gagliardi,R 1988), se implicarían de diversas maneras: para la determinación de obstáculos epistemológicos, la definición de contenidos de la enseñanza, introducir en clase la discusión sobre la producción, la apropiación y el control de los conocimientos a nivel social e individual, y como complemento de la enseñanza de otras disciplinas actividades en el desarrollo de la capacidad de aprender.

Los autores trataremos de dar respuesta a la pregunta central que evoca el título de este capítulo ¿qué sentido tiene la naturaleza de la ciencias y la historia de la ciencia en la en la formación ciudadana y valórica de un ser planetario? Que en palabras (Bruner, 1997), nos permita crear un mundo que dé significado a nuestras vidas, a nuestros actos, a nuestras relaciones, en el cual Vivimos juntos en unas culturas disciplinares, ínter y transdisciplinares, compartiendo formas de pensar, de sentir y de relacionarnos. Del mismo modo que aprendemos a trabajar juntos, tenemos que aprender a aprender de los otros, a compartir los esfuerzos para comprender el mundo personal, social y natural. Además que ayudarnos a encontrar nuestro camino en esta nueva y nuestra cultura planetaria, a comprenderla en sus complejidades y contradicciones.

2. La necesidad de educación científica en la formación ciudadana y valórica en lo planetario

En los estándares para la educación científica estadounidense (CouncilL Natinal Research, 1996) se señala en la primera página:

En un mundo repleto de productos de la indagación científica, la alfabetización científica se ha convertido en una necesidad para todos: todos necesitamos utilizar la información científica para realizar opciones que se plantean cada día; todos necesitamos ser capaces de implicarnos en discusiones públicas acerca de asuntos importantes que se relacionan con la ciencia y la tecnología; y todos merecemos compartir la emoción y la realización personal que puede producir la comprensión del mundo natural.

Para (Valentinuzzi, M.E., 2002), el siglo XX se inició con unos 1000 millones de habitantes, y el XXI lo hizo con aproximadamente 6000 millones. Antes de 2050, estaremos en los 12 millones de seres. En simultáneo, las reservas de agua enfrentarán limitaciones severas en las décadas venideras, habrá más y mejores armas y ejércitos con mayor poder de destrucción pero no es la solución inteligente ni solidaria.

Desde el imaginario educativo (Perrenoud, 2001), del futuro profesor es impredecible, está en riesgo y en incertidumbre.

En cuanto a saber qué profesores habrá que formar el 2100, o aún el 2050, habría que ser adivino para saberlo. Puede ser que la escuela haya desaparecido, que se hable de la enseñanza como de uno de esos oficios del pasado, muy conmovedores a fuerza de ser anticuados.

Un profesor trataba de formar a 25 alumnos a la vez, o a 40, o a más "se le dirá a los cibervisitantes de un cibermuseo de la educación. Ellos verán con emoción una película de los años 80 reconstruida en tercera dimensión que muestra a un profesor haciendo clase frente a un pizarrón. Se reirán ante las imágenes del año 2000, la época en que las computadoras necesitaban una pantalla y un teclado, treinta años antes de que se implante un dispositivo en el cerebro de cada recién nacido y 70 años antes de que una mutación genética controlada ponga enred a todas las almas de la Galaxia.

Podemos imaginar que ya no existan escuelas porque la humanidad habrá, por fin, logrado destruir el planeta o porque éste estará bajo el control de extraterrestres que disponen de medios más sofisticados para conformar los espíritus y los actos.

De manera menos dramática podemos imaginar que los seres humanos, por la ingeniería genética o la informática, habrán sabido liberarse del aprendizaje laborioso que conocemos hoy, las neurociencias habrán permitido dominar la memoria de manera más directa y menos aleatoria.

Podemos también imaginar que encontraremos, en salas de clases un poco mejor equipadas que las actuales, prácticas basadas fundamentalmente, en la palabra y en los intercambios entre un profesor y un grupo de alumnos, aun cuando se trate de una clase virtual cuyos alumnos están físicamente dispersos en los cuatro rincones del planeta, cada uno hablando su idioma y comprendiendo todos los demás gracias a un dispositivo de traducción simultánea... Tal vez los intérpretes desaparezcan antes que los profesores, a menos que ocurra a la inversa. A menos que nada cambie.

Dichas situaciones hacen prever la necesaria y urgente de una educación científica para todas y todos los ciudadanos no desde la formación del científico que es fundamental en todas las sociedades⁸, sino aquella educación científica que aporte a la culturización de ciudadanos y ciudadanas sin desconocer que existen otras fuentes desde lo disciplinar, inter, transdisciplinar que aportarían en la formación usuarios críticos e inteligentes de la ciencia y la tecnología, que les permitan ejercer plenamente sus derechos y cumplan con los deberes que imponen una ciudadanía responsable.

Para (Ortega Guerrero, C, 1991) el asunto principal en cuanto la calidad ciudadana de un conglomerado humano esta relacionado con la independencia y libertad de conciencia que los ciudadanos individualmente se conceden a y entre ellos mismos, con las acciones prácticas en que esta independencia y libertad se manifiesten, y con la naturaleza y el alcance de los objetivos con que se comprometan.

⁸ Aquí Tomas, L. 1992 citado por Garritz, A (2006), Aunque existe una necesidad perenne de enseñar a los jóvenes que posteriormente harán ciencia, éstos siempre serán una minoría. Es más importante enseñar ciencia a quienes deberían reflexionar sobre ella, y esto incluye casi a todos, especialmente a los poetas, pero también a los músicos, filósofos, historiadores y escritores. Al menos algunos de ellos, podrán imaginar estratos de significado que se nos escapen al resto.

La ciudadanía articula a la sociedad hombres y mujeres en capacidad de pensar, actuar y decidir sobre un mejor proyecto de vida para todos, esto supone desde luego, una comprensión de la ciencia desde el universo complejo de la diversidad, lo que amerita hacer lecturas de la realidad en sus distintas esferas inter y transdisciplinar en la imperiosa necesidad de comunicar y comunicarnos con base en principios y valores humanos. La ciudadanía no es una categoría privativa de la política; sin embargo, es un instrumento y herramienta de gran estimación en la concreción de valores democráticos por una convivencia sana y armónica garante del respeto de las demás personas.

Logra runa ciudadanía con instrumentos suficientes para comprender un mundo que la ciencia y la tecnología han construido y que nos ha arrollado, exige una serie de compromisos y resultados educativos que van desde saber leer y manejar los conocimientos básicos de las diversas disciplinas, hasta la capacidad de advertir los alcances de la ciencia y la tecnología en los ámbitos local, nacional y mundial. (Chamizo, 2013).

Lo anterior concierne con lo que proponen la corriente Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA), y que (Acevedo, y otros, 2005), señalan que las relaciones (CTSA) deben formar parte esencial del currículo científico aportando la discusión de problemas socio-técnicos reales y con incidencia e importancia para la sociedad y la educación hacia la toma de decisiones en temas socio-científicos. Estas relaciones implican también una enseñanza explícita de la historia, la epistemología y la sociología con énfasis especial en los aspectos aptitudinales y actitudes, ya que, dirigen la conducta⁹ para la construcción de una ciudadanía responsable.

Esa ciudadanía responsable estaría enmarcada en que todos y todas accedan al conocimiento científico y tecnológico (Macedo,B., Katzkowicz, R y Quintanilla,M, 2006), además, deben responder también a un compromiso ético de contribuir a disminuir la exclusión, a terminar con la concentración del conocimiento que significa la concentración del poder, a posibilitar -a través de la educación en general y de la educación científica en particular- a que todos y cada uno desarrolle al máximo sus potencialidades, su propia identidad, se encuentre a sí mismo, para que, a partir de ahí, pueda sentirse plenamente integrado, útil para aportar positivamente en el medio en el que le toque vivir, para actuar, interactuar y tener posibilidades de transformarlo. La educación científica debe aportar, en definitiva, para formar mejores ciudadanos y ciudadanas.

En los lineamientos de la asignatura Ciencias para el mundo Contemporáneo obligatorio en bachillerato en España que fue diseñada con el propósito para

⁹La conducta se percibe como un fin, que depende, directamente, de la intención conductual y del control de la persona sobre la conducta, denominado control percibido de la conducta, que influye directamente sobre La conducta, e indirectamente también sobre la intención conductual. La conducta implica al individuo que en términos sociales se halla inmerso en un contexto de participación y decisión en que el se construye y a la vez, es construido desde ese ámbito social con responsabilidad ciudadana, es decir, en construir principios y valores desde el horizonte del bien colectivo.

desarrollar un mundo más sustentable, refiriéndose a esa ciudadanía responsable como:

Los ciudadanos del siglo XXI, integrantes de la denominada “sociedad del conocimiento”, tienen el derecho y el deber de poseer una formación científica que les permita actuar como ciudadanos autónomos, críticos y responsables. Para ello, es necesario poner al alcance de todos los ciudadanos esa cultura científica imprescindible y buscar elementos comunes de un saber compartido. El reto para una sociedad democrática es que la ciudadanía maneje conocimientos suficientes para tomar decisiones reflexivas y fundamentadas sobre temas científico-técnicos de incuestionable trascendencia social y poder participar democráticamente en la sociedad para avanzar hacia un futuro sostenible para la humanidad (Ciencias para el mundo contemporáneo, 2008).

Aquí se dimensiona una nueva visión de la educación por, a través y sobre las ciencias debe ejercer en el cambio social; debe estar basada en los valores más importantes y compartidos por la humanidad y en la manera como percibimos nuestras relaciones con los demás y con el medio natural y físico.

Esto requiere de nuevas perspectivas que integren las preocupaciones (transformadas en ocupaciones operativas) sociales, económicas, ecológicas y científicas, lo que implica una reflexión no sólo más profunda sino también ambiciosa y valiente acerca de la educación científica respecto a la que estamos acostumbrados a realizar. Esta construcción de una nueva educación científica, necesita no sólo de visiones que integren las preocupaciones provenientes de distintos ámbitos, sino también de la integración de distintos protagonistas de esta nueva visión. Entendemos que es una nueva visión a construir, o a reconstruir.

La reconstrucción de la educación científica enfocada desde una educación sobre las ciencias debería estar basada en la búsqueda de respuestas posibles a múltiples cuestiones, por ejemplo: ¿Cómo podemos comprender la complejidad del mundo que nos rodea? ¿Cuáles son las interconexiones entre los diferentes problemas mundiales, y cómo comenzar a buscar soluciones? ¿Cuáles son los aportes desde las ciencias para las mismas? ¿Cuáles son los aportes de las ciencias para contribuir a la solución de los problemas de la salud pública, de la producción agrícola, de la degradación del medio ambiente, de la pobreza?, ¿Cómo contribuyen las ciencias a la construcción de un futuro posible? ¿Cómo es posible, a través de la educación científica, formar a los estudiantes en un marco de valores que los habilite a ser mejores ciudadanos y ciudadanas, para que encaren esas problemáticas desde los diferentes lugares donde les tocará actuar en el futuro? (Macedo, et al.2006).

Según (Garritz, A 2006), una estrategia educativa como la CTS, que intenta conectar los aspectos científicos y tecnológicos con las necesidades y problemas sociales, implica un enlace inmediato con aspectos que son relevantes y significativos para los y las estudiantes. Pero, si bien el aprendizaje ocurre cuando la persona involucrada puede enlazar ideas que impliquen una construcción de significados personales, el proceso no ocurre siempre en forma aislada. Así, el salón de clase puede ser un lugar donde los y las estudiantes compartan sus propias construcciones personales y donde los docentes motiven el aprendizaje retando a las concepciones de los aprendices.

Una enseñanza de las ciencias que no se limitaría a educar para conocer y comprender mejor los mundos natural y artificial, sino que se debe educar sobre todo para que las personas puedan intervenir en la sociedad civil (Jenkis, 1999).

La educación científica tiene que contribuir hoy a conocer, manejar y participar (Martín, M. y Osorio, C, 2003). Esto es, debe proporcionar conocimientos para comprender mejor los mundos natural y artificial por medio de la indagación, destrezas y habilidades que son imprescindibles como procedimientos específicos para poder desenvolverse, mejoren la vida cotidiana y, asimismo, capacidades para poder participar en las decisiones tecno científicas que afectan a la ciudadanía y contribuyen a cambiar el mundo. Tres elementos educativos que, junto a la educación para valorar –la educación en valores– reflexionando sobre las diversas opciones posibles (Martín, M., Osorio, C. y López-Cerezo, J.A., 2001), configuran la enseñanza de las ciencias desde un enfoque CTS humanístico que contribuye a la alfabetización científica y tecnológica de todas las personas. No obstante, siendo esenciales todos ellos conviene subrayar que:

“Una educación tecnocientífica que permita a los individuos conocer los procesos y manejar los artefactos del mundo que les rodea no formará realmente ciudadanos capaces de participar en democracia si no integra, además de los conocimientos para analizar la realidad y las destrezas para manejarse en ella, estrategias para el desarrollo de aptitudes y actitudes participativas y abiertas al diálogo, la negociación y la toma de decisiones en relación con los problemas asociados al desarrollo científico y tecnológico.”

Una Educación científica para la ciudadanía, estaría relacionada con una la población sea capaz de comprender, interpretar y actuar sobre la sociedad, es decir, de participar activa y responsablemente sobre los problemas del mundo, con la conciencia de que es posible cambiar la sociedad en que vivimos, y que no todo está determinado desde un punto de vista biológico, económico y tecnológico.

Cabe señalar aquí, la actitud ciudadana de poner en ejercicio social la gobernanza. Gobernanza es la viva participación de hacer ciudadanía al intervenir planteando propuestas a las soluciones de problemas colectivos ante el gobernante.

3. ¿Qué naturaleza de la ciencia sería pertinente en la formación ciudadana y valórica?

Cada época de la historia humana produce, a través de sus prácticas sociales cotidianas y su lenguaje, una estructura imaginaria. La ciencia forma parte de estas prácticas sociales, y las ideas científicas acerca de la naturaleza constituyen apenas una dimensión de esta estructura imaginaria. Dicha imaginación científica, según (Varela, F.J., 2013) sufre mutaciones radicales de una época a otra, y que la ciencia se parece más a una epopeya novelística que un progreso lineal (metarelativo).

La Ciencia es una actividad humana y, en consecuencia, está realizada por hombres, por seres humanos que no pueden ni deben ser despojados de su contexto

social, de sus creencias, de su religión, de sus ideas políticas ni de su status económico. Si los hombres tienen su historia, la Ciencia debe tenerla. Sólo así podremos empezar a desmitificar la imagen de la Ciencia y los grandes científicos, que se transformarán en lo que eran y en lo que son.

Según (Chade Vergara, 2010), los describe como:

“personas de carne y hueso que tenían inteligencia e ingenio pero también obsesiones, dificultades, valores, creencias, problemas, enfrentamientos y, a veces, miedo”). Así lo explica (Bridgman, 1950): *“Me parece que en lo que concierne a la ciencia una de las cosas más importantes a tomar en cuenta es que se trata de una actividad humana y que esto no puede significar la actividad de los individuos... Si la ciencia se ha enseñado incorporando la historia, este punto de vista será automáticamente importante. Siendo así, es un objetivo que se hace cada vez más importante completar en nuestros días, conocer la apreciación adecuada de las condiciones fundamentales dentro de las cuales se desarrolla la ciencia”*.

La cuestión que conviene destacar aquí es las propuestas de alfabetización científica y tecnológica (Bybee, 1997). La tesis básica de Bybee -coincidente, en lo esencial, con numerosos autores- es que dicha alfabetización exige, precisamente, la inmersión de los estudiantes en una cultura científica. Nos recuerda Bybee que una de las formas más eficaces de alfabetizarse en una lengua es por inmersión en la cultura de esa lengua. Similarmente, sugiere, cabe suponer que la inmersión en una cultura científica constituya una forma excelente de favorecer la alfabetización científica. Esta tesis, que supone en definitiva aproximar el aprendizaje de las ciencias a una actividad de investigación, ha sido expresada, de una u otra forma, por numerosos autores y aparece como un fruto esencial de la investigación en didáctica de las ciencias.

Dicha inmersión a la cultura de la ciencia estaría sujeta a la concreción de Naturaleza de la ciencia (NdC), como parte fundamental en la educación en ciencia y específicamente, como esta se relaciona en la descripción en el trabajo científico y como la sociedad que en sí misma, dirige y reacciona frente a los desafíos científicos y tecnológicos.

Bybee, R (1997) se refiere a una época cuya ciudadanía ilustrada ha de entender la naturaleza de la ciencia como parte integrante de nuestra sociedad. Por lo tanto, es importante para mejorar la enseñanza de las ciencias.

La manera en que conceptualizamos el conocimiento sobre lo que es ciencia es a través de lo que la comunidad de didactas de las ciencias naturales denomina “naturaleza de la ciencia” (McComas, 1998), y para (Aduriz y Daza 2012), nos referiremos a la naturaleza de la ciencia (NdC), como un conjunto de contenidos curricularmente adecuada sobre la ciencia de interés escolar que contribuye a la conformación de diferentes audiencias, apropiada y educativamente valiosa, fruto de la reflexión de tipo epistemológico, ambientada en la historia de la ciencia y advertida por la sociología contra el relativismo y el triunfalismo de la versión tradicional que circula en clase.

La naturaleza de la ciencia se engloban todos aquellos aspectos que configuran la ciencia como una manera especial de llegar al conocimiento, es decir, los valores y suposiciones propias del desarrollo del conocimiento científico y que constituyen lo que se denomina el método científico (Aikenhead, 1979). Lejos de considerar este método como una vía única constituida por serie de etapas o recetas algoritmizadas que seguidas mecánicamente permiten llegar a resultados seguros.

El método científico se entiende hoy como un conjunto de supuestos no escritos y valores aceptados por la comunidad científica que sirven para avalar una racionalidad común. Así, la fundamentación en el cuerpo de conocimientos, la emisión y contrastación de hipótesis, la predecibilidad, la coherencia y la referencia empírica de las teorías y modelos constituyen lugares comunes habituales de esta metodología, cuyas exigencias necesarias e ineludibles son la comunicabilidad (publicidad) y la replicabilidad. Quiere decir esto que, la evidencia científica en virtud al método de investigación es lo que otorga la credencial de científicidad. La ciencia y su método para hablar y escribir de un singular ficticio.

Según (Guisasola,J, Morentin,M, 2007),Para tener mayor claridad de lo que es la naturaleza de la ciencia (NdC) es necesario plantearse diversas cuestiones como: ¿qué es la ciencia?, ¿cómo funciona?, ¿cómo se construye y desarrolla el conocimiento que produce?, ¿qué tipos de métodos utiliza para validar el conocimiento? ¿Cuáles son los valores implicados en las actividades científicas?, ¿qué vínculos tiene con la comunidad y la tecnología y ¿cuáles son las aportaciones de éste a la cultura y al progreso de la sociedad?. Todos estos aspectos constituyen grosso modo la mayor parte de lo que se conoce como (NdC), entendida esta en un sentido amplio y no exclusivamente reducido a lo epistemológico .

La naturaleza de la ciencia describe el trabajo científico en la educación en ciencias y como la sociedad en si misma dirige y reacciona frente a los desafíos científicos. Una buena comprensión de la (NdC) implica saber que el conocimiento científico es provisional, se apoya en pruebas empíricas derivadas de observaciones del mundo natural, es en parte subjetivo porque está cargado de teorías, se basa parcialmente en inferencias, imaginación y creatividad, está incrustado en la cultura y la sociedad, así como conocer que leyes y teorías científicas tienen distinto status epistemológico.

Se considera que las representaciones que los docentes manejan sobre este tema emergente influyen en su desempeño en el aula de clases; generando un acuerdo entre los didácticas de las ciencias sobre el impacto positivo que promueve en el proceso de enseñanza, ya que se fomenta nuevas actitudes hacia la ciencia y el conocimiento científico; por tanto, la comunidad científica ha llegado a concluir que es necesario que la naturaleza de la ciencia se convierta en una área emergente en el currículo de ciencia, requiriendo ofrecer escenarios adecuados y pertinentes para que los profesores y los estudiantes comprendan lo que se conoce como ciencia y por ende su funcionamiento.

En este orden de ideas se reconoce que la comprensión de la naturaleza de la ciencia es importante para que las personas le den sentido sobre lo que es ciencia y su relación con la sociedad y la tecnología, de igual forma, para que participen de manera activa en la toma de decisiones, como también conocer y apoyar los productos de la comunidad científica.

4. Lo educativo en el aula y la comprensión la naturaleza de la ciencia como componente valórico

De manera habitual, los currículos de ciencias se han centrado sobre todo en los contenidos conceptuales que se rigen por la lógica interna de la ciencia y han olvidado la formación sobre la ciencia misma; esto es, sobre qué es la ciencia, su funcionamiento interno y externo, cómo se construye y desarrolla el conocimiento que produce, los métodos que usa para validar este conocimiento, los valores implicados.

En cuanto al campo educativo es indispensable la comprensión la naturaleza de la ciencia (Aduríz y Daza 2012; Aduríz-Bravo, 2001), entendida como un conjunto de contenidos metacientífico con valor para la educación científica, la amplitud de esta definición nos parece conveniente por varios motivos. Primeramente, porque sitúa la naturaleza de la ciencia en el ámbito de acción de las metaciencias, que son disciplinas de carácter netamente científico, y por tanto, la hace muy compatible con las propias ciencias naturales y enseñable dentro de su espacio curricular y en segundo lugar, porque no separa estrictamente las diversas procedencias de las ideas a enseñar; éstas vienen de la epistemología, la historia de la ciencia y la sociología de la ciencia principalmente, disciplinas entre las cuales una demarcación estricta es objeto de discusión incluso entre sus propios especialistas. En tercer lugar porque, al hablar de la voluntad profundamente educativa de la naturaleza de la ciencia, remitimos a genuinas transposiciones didácticas funcionales a la tarea cotidiana de los profesores de ciencias, por más que esas transposiciones se alejen bastante de sus contrapartes eruditas.

En la enseñanza de la ciencia tradicional (Aduriz-Bravo, 2013), señala que la ciencia escolar suele transmitir una imagen de la ciencia académica del pasado; pese que desde hace 20 años enseñar ciencias no implica únicamente transmitir conceptos, sino incluir aspectos relevantes tales como los modos de elaboración del conocimiento científico, los cambios de teorías, y la manera como se relacionan con la sociedad de su época.

Detrás de cualquier situación de enseñanza de la ciencia es necesario incluir tres dimensiones fundamentales como la epistemológica, psicológica y didáctica.(Dibarbaure,M, 2013).

Para la dimensión epistemológica nos preguntaríamos. ¿Qué ciencia es la que se enseña?, ¿cuál es la concepción que está implícita en las situaciones de enseñanza más comunes?, ¿Qué relación existe entre la ciencia y la ciencia que se enseña? Desde

la formación los docentes deben tener una mirada personal y crítica sobre la enseñanza, una visión que sea coherente con los tiempos en los que vivimos. Cada disciplina científica presenta particularidades diferentes; cada una de ellas responde a diversas preguntas, que son el motor que les da sentido, al darle respuesta a estas preguntas se genera en cuerpo de conocimientos, tanto por la naturaleza del conocimiento que producen por metodología particular que utilizan por tal construcción.

Desde la dimensión psicológica, hace referencia a la forma como el docente concibe el aprendizaje y en especial el aprendizaje de las ciencias. Del mismo modo las creencias que posea el docente, determina consciente o inconscientemente las situaciones de enseñanza que propone, la forma como el docente entienda como ocurre el conocimiento científico condicionara las actividades que el mismo presenta en el aula.

Y desde la dimensión didáctica refiere a lo que los docentes entienden por enseñar y demás aspectos que se deben tener en cuenta para ello. Desde los contenidos seleccionados hasta las estrategias utilizadas para trabajarlas, los docentes deben tomar la decisión, aunque en la mayoría de las ocasiones no se tiene plena conciencia de estas decisiones.

Frente a la Relación entre (NdC) y enseñanza de las ciencias en la actualidad el principal problema que se presenta en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias es la falta de interés por parte de los estudiantes; para (Garritz, A, 2006) esto indica que el objetivo primordial del proceso de enseñanza de la ciencia es promover un espíritu positivo de curiosidad hacia la ciencia escolar para ir generando apego hacia la educación científica.

De igual forma (Manassero, M. y Vázquez, A. , 2000) sugieren que las fallas en los estudiantes obedecen en gran parte a la errada visión que poseen los docentes; por tanto se exige la necesidad de mejorar la calidad de la enseñanza y la comprensión de la NdC; para esto se han propuesto dos caminos; por una parte la mejora de los currículos, introduciendo aspectos de la naturaleza de la ciencia, centrando la atención en los aspectos aptitudinales, afectivos y emocionales(Acevedo,J, 2005),ya que se cree que en esta herramienta es en donde se plasma las ideas del profesorado; y por otro lado la mejora de las concepciones de los docentes sobre la NdC ; es claro que aunque son dos vías diferentes ambas están muy relacionadas entre sí y tienen el firme propósito combatir las dificultades que se presentan en el proceso de enseñanza y aprendizaje en los estudiantes.

El conocimiento de aspectos importantes de NdC ni siquiera sería condición necesaria para tomar decisiones con más racionalidad científica en los asuntos tecnocientíficos de interés social; una conclusión que, sin embargo, es matizada (Bell, R.L. y Lederman, N.G, 2003), los cuales son convencidos defensores de la inclusión explícita de la NdC en la enseñanza de las ciencias. De modo consistente con lo sugerido en investigaciones precedentes sobre la toma de decisiones sociocientíficas

(Pedretti, E, 1999; Sadler, T. D., 2006), los factores con más repercusión fueron los valores morales y personales, así como los aspectos culturales, sociales y políticos relacionados con las cuestiones planteadas.

El ciudadano planetario con sentido valórico debe entender que las ciencias constituyen unas de las maneras (no la única) de pensar y de actuar con el objetivo de interpretar determinados fenómenos e intervenir en ellos mediante un conjunto de conocimientos teóricos y prácticos, estructurados.

El modelo Cognitivo de Ciencia (MCC) nos muestra que el proceso mediante el cual se construyen estos conocimientos no es radicalmente distinto del que se da en otras elaboraciones humanas con las cuales se da significado a los acontecimientos que se quieren controlar (Giere, R , 1992). El conocimiento científico tiene la peculiaridad de poder estar al alcance de todos aquellos que quieren saber cómo funciona el mundo y cómo intervenir en él.

De acuerdo con (Kröber, G, 1986), entendemos la ciencia no sólo como un sistema de conceptos, proposiciones, teorías, hipótesis, etc., sino también, simultáneamente, como una forma específica de la actividad social dirigida a la producción, distribución y aplicación de los conocimientos acerca de las leyes objetivas de la naturaleza y la sociedad. Aún más, la ciencia se nos presenta como una institución social, como un sistema de organizaciones científicas, cuya estructura y desarrollo se encuentran estrechamente vinculados con la economía, la política, los fenómenos culturales, con las necesidades y las posibilidades de la sociedad dada.

Las ciencias son el resultado de una actividad humana compleja, su enseñanza no puede ser menos: debe concebirse también como actividad y para ello debe tener la meta, el método y el campo de aplicaciones adecuados al contexto escolar, conectados con los valores del alumnado y con el objetivo, de promover la construcción de conocimientos y hacerlos evolucionar (Izquierdo, M y Sanmartí, N, 2000).

La Teoría de los modelos de Giere (1992), puede encontrar un camino apropiado y educativo para la transposición del saber erudito en la clase de ciencias, que parece ser muy interesante y prometedor para enfrentar la evaluación como un proceso de desarrollo del sujeto que aprende. Giere permite establecer prudentes conexiones entre los modelos teóricos (el mundo de las ideas), y el sistema real (trabajo experimental, manipulación de lo real) del estudiantado, los profesores y los científicos. Buscando establecer similitudes a través de las hipótesis teóricas y las entidades lingüísticas que los relacionan (Giere, R., 1999; Quintanilla, M, 2006).

De esta forma, se piensa, se hace y se expresa la ciencia como cultura que conecta permanentemente estos tres elementos, sin separar la teoría de lo empírico, ya que asumimos la elaboración de modelos teóricos de los fenómenos con que estamos trabajando (modelo fenomenológico), de los instrumentos que estamos usando (modelo instrumental) y de nuestra intervención sobre el mundo real (modelo cotidiano).

Uno de los elementos interesantes que postula este concepto de ciencia, es el racionalismo hipotético, que significa si alguien tiene una meta se dirige hacia la misma mientras planea “en el camino”. En definitiva, las comunidades científicas y las personas saben valorar si se acercan bien o mal a la meta, sobre la base de una construcción en común de un hecho paradigmático y de la interpretación del mismo sobre la base de diferentes miradas del mismo fenómeno (diversidad de explicaciones científicas en el alumnado). En este sentido, el estudio de cómo funciona una comunidad, cuáles son los “criterios de racionalidad”, etc., nos acercan a una “Racionalidad Moderada” para comprender la ciencia que enseñamos y la finalidad que impregnamos a la evaluación de competencias de pensamiento científico en esta variante epistemológica.

Así, el conocimiento científico adquirido por el estudiantado debería ser persistente y significativo. De acuerdo a teorías modernas y tendencias internacionales sobre desarrollo de competencias de pensamiento científico y modelos de evaluación, esto se lograría a través de un proceso de construcción activo y protagónico en el interior de cada sujeto y en el contexto sociocultural donde sus competencias adquieren significado y, por tanto, son evaluadas en función de las tareas y los contextos culturales en que se inscribe. En este contexto, las concepciones previas resultarían ser de carácter esencial para la comprensión de las teorías y modelos explicativos de la ciencia, de su método y su naturaleza.

5. ¿Cuál es papel de la historia de la ciencias en la formación ciudadana y valórica?

La enseñanza de las ciencias no puede ser ni constructivista, ni completa si está ausente una perspectiva histórica que exponga algunos de los aspectos del complejo proceso de evolución de los conocimientos científicos y de las mismas relaciones entre la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad en distintos momentos históricos, es decir una versión contextualizada de la enseñanza de la ciencia, que enseñe en sus contexto social, histórico, filosófico, ético y tecnológico.

Sostenemos que un enfoque de este tipo debe contribuir a mejorar radicalmente la imagen que, sobre la Ciencia, tienen los profesores, los estudiantes y el público en general. Aunque para (Matthews, M, 1994)

“La historia, filosofía y sociología de la ciencia no tienen todas las soluciones para esta crisis ... sí tienen algunas respuestas: pueden humanizar las ciencias y acercarlas más a los intereses personales, éticos, culturales y políticos; pueden hacer las clases más estimulantes y reflexivas, incrementando así las capacidades del pensamiento crítico; pueden contribuir a una comprensión mayor de los contenidos científicos; pueden contribuir un poco a superar el «mar de sin sentidos» en que un comentarista dijo se habían engolfado las clases de ciencias, donde se recitaban fórmulas y ecuaciones pero donde pocos conocían su significado; pueden mejorar la formación del profesorado contribuyendo al desarrollo de una epistemología de la ciencia más rica y más auténtica, esto es, a un mejor conocimiento de la estructura de la ciencia y su lugar en el marco intelectual de las cosas”

La historia nos enseña que la Ciencia es una actividad humana y, en consecuencia, está realizada por hombres, por seres humanos que no pueden ni deben ser despojados de su contexto social, de sus creencias, de su religión, de sus ideas políticas ni de su status económico. Tal y como afirman (Vázquez Alonso, A. y M. Manassero Mas, 2012): “La subjetividad personal también es inevitable. Los valores personales, las prioridades y las experiencias anteriores dictan hacia dónde y cómo los científicos dirigen su trabajo. Además, la ciencia es un empeño humano y está influida por la sociedad y la cultura donde se desarrolla.

El problema exegético de la interpretación de la historia de la ciencia, lejos de ser una barrera o un obstáculo para el uso de la historia, puede ser la ocasión para introducir a los estudiantes y al ciudadano y ciudadana de a pie en los procesos significativo sobre como leer textos y contextos e interpretar hechos, en los complejos problemas de la significación. Se resalta el valor hermenéutico de la ciencia para facilitar un discurso comprensivo por parte del cuerpo docente posibilitando a sus educandos a interpretar contenidos y hacer de ellos una praxis de vida al servicio de la sociedad.

La historia de la ciencia asimismo es un vehículo natural para enseñar como se implica los valores de la cultura determinan el rumbo de la ciencia, cómo lo persigue, se interpreta, se acepta y se utiliza. Sólo tomando en cuenta esto, podremos empezar a desmitificar la imagen de la Ciencia, y los grandes científicos se transformarán en lo que eran y en lo que son: personas de carne y hueso que tenían y tienen inteligencia e ingenio pero también obsesiones, dificultades, valores, creencias, problemas, enfrentamientos y, a veces, miedo. Así, el científico es visto y comprendido como un ser cierto, de osamenta y carnadura como los demás mortales que pueblan la humanidad y habitan nuestro planeta.

“La Historia de las Ciencias, una Ciencia con Historia, servirá, entonces, para conocer cuál fue el contexto social, político y económico en el cual los científicos desarrollaron sus investigaciones y esto desvelará cuáles fueron las resistencias a la transformación, qué sectores trataron de impedir el cambio y qué sectores se beneficiaron con él” (Chade, V. 2010).

La historia de la Ciencia será, en definitiva, una poderosa herramienta válida para averiguar qué es conocer y cómo se conoce. La historia no tendrá las soluciones mágicas para nuestros problemas, pero puede al menos, proporcionar elementos interesantes y útiles para la reflexión.

Entonces ¿qué sentido tiene entonces incorporar la historia de la ciencias como componente metateórico relevante en la formación ciudadana y valórica de un ser planetario?, para (Quintanilla,M, 2010),la historia promueve una mejor comprensión de las nociones y métodos científicos; los enfoques históricos conectan y evalúan el desarrollo del pensamiento individual con el desarrollo de las ideas científicas en un momento particular o la consolidación de los pactos metateórico de la comunidad; es necesaria y útil para comprender la naturaleza de las ciencias; cuestiona el cientifismo y dogmatismo que es común encontrar en nuestras clases y textos habituales de enseñanza de las ciencias naturales. Al examinar la vida y época

de los científicos (as) individuales, la historia de la ciencia humaniza los contenidos propios de la ciencia, haciéndola más formal y más cercana al estudiantado, al ciudadano de a pie y en general a la sociedad.

En esa misma dirección, (Brush, S.G, 1991) señala que la historia de la ciencia influye sobre el aprendizaje de la ciencia ya que ayuda a los estudiantes a aumentar su conocimiento del mundo físico, que permite ver a la ciencia como la actividad humana maravillosamente multifacética que es en realidad. Esto implica presentar a la ciencia desde una perspectiva histórica, cultural y valórica, y mostrar que las ideas científicas tienen una tradición así como los modos evolutivos de adaptación, que permitan mejorar las aptitudes y actitudes hacia y comprensión del funcionamiento de la ciencia.

Para Sarton, G. (1948), el estudio de la historia, y especialmente de la ciencia, puede entonces considerarse no solo como una fuente de sabiduría y de humanismo, sino también como un regulador de nuestras conciencias: nos ayuda a no ser complaciente, arrogantes o demasiado confiados en nuestro éxito, y al mismo tiempo, a permanecer agradecidos y esperanzados, y a no dejar nunca de trabajar silenciosamente, para cumplir con nuestra propia tarea.

La propuesta es plantear una formación ciudadana desde los aportes de la historia de la ciencia (Izquierdo, M., e tal 2006), significa que teniendo en cuenta las particularidades en cada campo disciplinar y tomando el origen histórico, polémico y controversial de las principales teorías y mostrar el proceso de creación, innovación, disputa y desarrollo de las principales nociones y metodologías, como fruto de un trabajo colectivo y de una construcción colectiva y colaborativa de una construcción humana en la que hay errores, intrigas, mentiras, pasiones, tracciones, tensiones y distensiones; y analizar así la complejidad de las relaciones ciencia- tecnología- sociedad- comunicación a lo largo de la historia, con las diversas implicaciones de transformación de los procesos políticos, sociales y de convivencia que ello ha generado para la comunidad científica y para la comunidad en general.

Para favorecer dicha comprensión y recrear los contenidos científicos desde la lectura histórica para la formación de esa ciudadanía planetaria y valórica retomamos lo que (Quintanilla, M, 2007), plantea como modelo de formación dirigido específicamente al profesorado pero que no compete en otros escenarios. Dicha propuesta está secuenciada para que participen activamente en el diseñar, experimentar, hacer analogías, guías de observación, guías de campo, incorporando la historia, la epistemología, la sociología y la didáctica de la Ciencia. Se propone en dicho modelo de formación lo siguiente:

- Explicar historias contextualizadas, que pueden ser utilizadas desde un punto de vista didáctico para introducir conceptos, para motivar, para promover actitudes, para relacionar conocimientos de diferentes áreas, para fundamentar actividades interdisciplinarias, para ayudar a concebir unitariamente la enseñanza de diferentes disciplinas (científicas y no científicas).

- Hacer simulaciones o dramatizaciones de situaciones históricas, en las cuales los estudiantes puedan argumentar. Por ejemplo, en el caso de teorías 'rivales', un grupo de la clase será partidario de una teoría, en tanto que, otro grupo defenderá las ideas 'opuestas' (socio dramas).
- Repetir prácticas relevantes, haciendo ver cuáles eran las ideas científicas en el tiempo en que ellas se realizaron, las posibilidades de interpretación que se tenían y la utilidad experimental de las mismas, superando las limitaciones de un análisis centrado en 'si eran verdad o no lo eran'.
- Identificar, caracterizar y describir instrumentos antiguos mediante láminas o esquemas obtenidos de reproducciones o de sitios en Internet. Reflexionar sobre los materiales con que fueron elaborados, cómo se divulgaron, qué aportaron, las ideas que suscitaban o las polémicas que generaban.
- Leer textos históricos expresamente seleccionados (como se hace en la clase de literatura), haciendo ver que los libros siempre se escriben pensando en quien los ha de leer y que reflejan los valores y cultura de una época. Al respecto, no se requiere de grandes fuentes bibliográficas, actualmente se puede acceder a imágenes y textos originales de gran calidad científica.
- Dar a conocer personajes históricos que permitan comprender a los estudiantes los aspectos humanos de la ciencia y el conjunto de valores (individuales y sociales) en los cuales ella se desarrolla, valores que normalmente no aparecen o se atenúan en los libros de texto. Por ejemplo ¿Siempre se tuvieron recursos para investigar? Si no fue así, ¿cómo se las ingeniaran los científicos?, ¿Qué problemas personales conspiraron para que sus estudios fueran enseñados o divulgados?
- Mostrar situaciones históricas de crisis y duda que promuevan en los estudiantes entender que el conocimiento científico no es un dogma ni una historia de buenos y malos científicos. El conocimiento científico se evidencia y se valida en la prueba de una comunidad creíble en su cientificidad por sus resultados y contrastación de los mismos.
- Promover el análisis de 'entramados' histórico-políticos, histórico-geográficos, histórico-sociales o histórico-económicos que favorecieron u obstaculizaron el desarrollo y la divulgación de la ciencia, sus problemas e instrumentos.

Esta idea de formación y enseñanza de la historia de la ciencia desde una orientación de ciudadanía y valores (Quintanilla, M, 2007), representa releer y comprender marcos teóricos diversos para interpretar fenómenos científicos que hoy comprendemos bien y que se explican mediante teorías vigentes, las cuales continúan evolucionando vertiginosamente; además, nos permitirían conocer la relación entre la ciencia y la cultura de una época específica, analizando de esta forma la influencia de ésta en el desarrollo y consolidación de una sociedad determinada que comparte unos valores que se resignifican sistemáticamente.

6. Consideraciones finales

La historia de la ciencia en el contexto del espacio escolar ha de hacer ver por parte de los profesores su utilidad como estrategia en el proceso enseñanza para sus futuras vidas en los aspectos importantes al contextualizar la ciencia, es decir, relacionarla con la vida cotidiana, actual y personal, profesional y social.

Es necesario que amplios sectores de la población, sin distinciones, accedan al desafío y la satisfacción de entender el universo en que vivimos y que puedan imaginar y construir, colectivamente, los mundos posibles. Es decir en relación con (Quintanilla Gatica, M., 2006), introducir en cualquier espacio de formación de los ciudadanos y ciudadanas aspectos de la historia de la ciencia en el cual se señala el papel de las instituciones, las minorías, los elementos políticos, los aspectos valóricos y de género que planteen nuevas miradas sobre la construcción histórica y evolutiva del hecho científico, así como sobre sus aprendizaje y enseñanza.

Acceder a los conocimientos científicos a través de la HC es fundamental por muchas y múltiples razones, entre ellas la adquisición de una metodología de razonamiento basada en el cuestionamiento científico, que contribuya como aporte a las diversidad de culturas en el reconocimiento de las propias limitaciones, en el juicio crítico y razonado que debe insertarse en todo proyecto de desarrollo de la persona y colaborar en la formación de un ciudadano capaz de tomar sus propias decisiones, ya que, prepara y favorece una actitud crítica, razonable.

Como dice (Macedo, J. N. B., y Fichero, D, 1997), la influencia creciente de las ciencias y la tecnología, su contribución a la transformación de nuestras concepciones y formas de vida, obligan a considerar la introducción de una formación científica y tecnológica (indebidamente minusvalorada) como un elemento clave de la cultura general de los futuros ciudadanos y ciudadanas, que les prepare para la comprensión del mundo en que viven y para la necesaria toma de decisiones».

Como señala (Izquierdo,M, 2000), la auténtica educación científica debe capacitar para la crítica y debe permitir que los jóvenes futuros ciudadanos consideren que su intervención en la sociedad es necesaria y va a ser posible en una perspectiva de cambio para mejorar colectivamente. Para esto se requiere de los aportes de la HFC, de la axiología y la sociología de la ciencia y la didáctica de la ciencia que sean propias del contexto escolar, y que proporcionen al estudiantado un espacio de vida en el cual sea posible la utopía, la creencia íntima que, finalmente, orientará al decidir.

Es apuntar a contribuir en formar ciudadanos responsables que viven y se desenvuelven en una sociedad cada vez más compleja en la que la ciencia y la tecnología ocupa, sin duda, un lugar fundamental en sus vidas. Aprender la cultura de la ciencia, (Daza, S et al 2011), para mejorar su comprensión pública, debe insistir no como hacer ciencia o aprender conocimiento científico, sino en indagar como leer y comprender el discurso de la ciencia de forma crítica e instruida. Intentar de manera consciente que los estudiantes deben proyectarse como personas hodológicas, es decir, abridores de caminos hacia la ciencia como lo ha propuesto el filósofo Martín Heidegger.

La utilización de la Historia de la Ciencia en la enseñanza de las ciencias proporciona con otras formas de inteligibilidad, otras formas de entender el mundo. Aceptar que hubo otras maneras de entender el mundo y como estas distintas maneras chocaron e interactuaron entre sí y se sucedieron unas a otras favorece no solo la mejor comprensión de la ciencia, sino también el desarrollo de una actitud pluralista, su aprendizaje de los procesos para justificar racionalmente la propia manera de dar cuenta del universo, esto enmarcado como producto cultural en el que sus contenidos o trama, nos llevaría a preguntarnos como se produce, se gestiona y se transforma dicho conocimiento y que tenga sentido en el desarrollo de la comunidades hacia la formación ciudadana y valórica de un ser planetario, habitante en esta aldea planetaria.

Agradecimiento

Este capítulo sigue las orientaciones teóricas y metodológicas del **Proyecto COLCIENCIAS-CONICYT Folio: PCCI130073** y del **Proyecto de Movilidad Académica DRI-UC 024/14** que dirige el Dr. Mario Quintanilla Gatica.

Lista de referencias bibliográficas

- AAAS. (1989). *American association for the advancement of science. Science for all Americans: Project 2061*. Washington.
- ACEVEDO, J. A., VASQUEZ, A., MARTIN, M., OLIVA, J. M., ACEVEDO, P., PIXAO, M. F., Y OTROS. (2005). Naturaleza de la ciencia y educación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica. *Eureka*, n.º 2, 2, pp.121-140 <http://repositorio.ipcb.pt/bitstream/10400.11/1321/1-Naturaleza%20de%20la%20ciencia-2005.pdf>.
- ACEVEDO, J. (2005). Naturaleza de la ciencia y educación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica. *Eureka sobre la enseñanza y divulgación de las ciencias*, 2 No 2, 122 - 123. <http://repositorio.ipcb.pt/bitstream/10400.11/1321/1-Naturaleza%20de%20la%20ciencia-2005.pdf>.
- ADURIZ, B Y ARIZA, Y. (2011). Importancia de la filosofía y la historia de la ciencia en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. En Z. Monroy- Nasr, *Enseñanza de las Ciencias* (págs. 79-92). Mexico: DGAPA y Facultad de Filosofía Universidad Autónoma de México.
- ADURIZ, B Y DAZA, S. (2012). ¿Qué naturaleza de las ciencias hemos de saber los profesores que enseñamos ciencias? Una cuestión actual de la investigación didáctica. En S. y. Daza, & S. y. Daza (Ed.), *La enseñanza de la ciencias naturales en las primeras edades. Su contribución a la promoción de competencia de pensamiento científico* (Vol. 5, págs. Vol 5.111-127). Barrancabermeja-Colombia, Barrancabermeja, Colombia: Litodigital.
- ADURIZ-BRAVO, A Y ARIZA, Y. (2013). Las imágenes de ciencia y de científico. En Aduriz-Bravo, A., & S. Dibarbouré. M y Iturralde, *El quehacer del científico al aula* (págs. 13-20). Uruguay, Uruguay: Fondo editorial qeduca.
- AIKENHEAD, G. (1979). Science: A way of knowing. *The Science Teacher*, 46, 23-25.

- BELL, R.L. Y LEDERMAN, N.G. (2003). Understandings of the nature of science and decision making on science and technology based issues. *Science Education*, 87(3), 352-377. <http://www.ut.ee/BG/scom/Articles%20on%20Nature%20of%20Science/NOS%20Article%204.pdf>.
- BRIDGMAN, P. (1950). *Reflections of a Physicist Philosophical*. U.S.A: Arno Press.
- BROSWIMMER, F. (2005). *Ecocidio. Breve historia de la extinción en masa de las especies*. Pamplona: Laetoli.
- BRUNER, J. (1997). *La educación puerta de la cultura*. Madrid, España: Aprendizaje Visor.
- BRUSH, S.G. (1991). Historia de la ciencia y enseñanza de la ciencia. *Comunicación, lenguaje y Educación*, 170-180. .
- BYBEE, R. (1991). Planet Earth in Crisis: How Should Science Educators Respond? *The American Biology Teacher*, 53(3), 146-153.
- CHADE VERGARA, P. (2010). *La Historia de la Dinámica en la Estructura Filosófica de Thomas Samuel Kuhn*. La Rioja: Universidad Nacional de La Rioja.
- CHAMIZO, J. (2013). *De la paradoja. la metáfora. la enseñanza de la química a partir de modelos*. Mexico: Siglo XXI Editores.
- CÓRDOVA, G. V. (2011). El perfil académico profesional del ingeniero agrónomo. Una propuesta renovada para el siglo XXI. En: *Revista latinoamericana de estudios educativos.*, VOL. XLI, No. 1-2, 4.
- COUNCILL NATINAL RESEARCH. (1996). *National Science Education Standards*. Washington.
- DAZA, S. (2013). *Una nueva dinámica de la educación para un mundo en emergencia planetaria*. <http://catic.unab.edu.co/reduniversitaria/wp-content/uploads/2013/08/ARTICULO-de-las-relatorias.pdf>.
- DAZA, S; QUINTANILLA, M Y ARRIETA, J, R. (2011). La cultura de la ciencia: contribuciones para desarrollar competencias de pensamiento científico en un encuentro con la diversidad. *Revista Científica. Universidad Distrital. Bogotá*, (14) 97-111.
- DIAMOND, J. (2006). *Colapso*. Barcelona: Debate.
- DIBARBAURE, M. (2013). Enseñar a los niños "cosa llamada ciencia" pensar la enseñanza desde el aprendizaje. En D. I. Aduriz, A., *El quehacer científico al aula. - Pistas para pensar* (págs. 21-37). Montevideo: Fondo editorial QUEduca.
- DIBARBOURE, M. (2012). Enseñar a los niños "esa cosa llamada ciencia " pensar la enseñanza desde el aprendizaje. En M. Dibarboure, *El quehacer del científico al aula. Pautas para pensar* (pág. 23).
- GAGLIARDI, R. (1988). Como utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de la ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 291-296.
- GARRITZ, A. (2006). Naturaleza de la ciencia e indagación: Cuestiones fundamentales para la Educación científica del ciudadano. *Revista Iberoamericana de educación*, No 42 -127-152. <http://www.rieoei.org/rie42a07.pdf>.
- GIERE, R. (1992). *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- GIERE, R. (1999). Del realismo constructivo al realismo perspectivo . *Enseñanza de las Ciencias*,, 9-13.

- GIL, D Y VILCHES, A. (2006). Contribución de la educación secundaria a la formación de ciudadanas y ciudadanos para una sociedad sostenible. En R. y. Katzkowicz, *Construyendo ciudadanía a través de la educación científica* (págs. 54-73). Santiago de Chile: OREALC/UNESCO. <http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001595/159537s.pdf>.
- GUISASOLA, J., MORENTIN, M. (2007). ¿Conocen la naturaleza de la ciencia los futuros maestros y maestras de educación primaria? *Enseñanza de las ciencias*, 246-262.
- IZQUIERDO, M Y SANMARTÍ, N. (2000). Enseñar a leer y escribir textos de Ciencias Naturales. En J. G. En Jorba, *Hablar y escribir para aprender. Uso de la lengua en situaciones de enseñanza-aprendizaje desde las áreas curriculares* (págs. 181-200). España: Editorial Síntesis.
- IZQUIERDO, M. (2006). Por una enseñanza de las ciencias fundamentada en valores humanos. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11 (30), pp. 867-882.
- IZQUIERDO, M., VALLVERDÚ, J. QUINTANILLA, M., Y MERINO, C. (2006). Relaciones entre la historia y la filosofía de la ciencias II. *Alambique*, 48, 78-91.
- IZQUIERDO, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En F. y. F. J. Perales, *Didáctica de las Ciencias Experimentales: teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (págs. 35-64). Madrid: Marfil, Alcoy.
- JENKIS, E. (1999). Comprensión pública de la ciencia y enseñanza de la ciencia para la acción. *Revista de Estudios del Currículum*, 2(2), 7-22.
- KRÖBER, G. (1986). Acerca de las relaciones entre la historia y la teoría del desarrollo de las ciencias. *Revista Cubana de Ciencias Sociales*, 4, 10, 37-44.
- LEWIN, R. (1997). *La sexta extinción*. Barcelona : Tusquets Editores.
- MACEDO, J. N. B., Y FICHERO, D. (1997). *Un currículo científico para estudiantes de 11 a 14 años*. Santiago de Chile : UNESCO.
- MACEDO, B., KATZKOWICZ, R., Y QUINTANILLA, M. (2006). La educación de los derechos humanos desde una visión naturalizada de la ciencia y su enseñanza: aportes para la formación ciudadana. En R. y. Katzkowicz, *Construyendo ciudadanía a través de la educación científica* (págs. 5-17). Santiago de Chile: OREALC/UNESCO. <http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001595/159537s.pdf>.
- MANASSERO, M. Y VÁZQUEZ, A. (2000). Creencias del profesorado sobre la naturaleza de la ciencia. *Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, No 37, 187-208.
- MARTÍN, M. Y OSORIO, C. (2003). Educar para participar en ciencia y tecnología. Un proyecto para la difusión de la cultura científica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 32, 165-210 <http://www.campus-oei.org/revista/rie32a08.PDF>.
- MARTÍN, M., OSORIO, C. Y LÓPEZ-CEREZO, J.A. (2001). La educación en valores a través de CTS. En E. G. (Coord.), *La educación en valores en Iberoamérica* (págs. pp. 119-161). Madrid: OEI. En Sala de Lecturas CTS+I de la OEI. www.campus-oei.org/salactsi/mgordillo.htm.

- MATTHEWS, M. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 255-277. <http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/21364/93319>.
- MCCOMAS, W. F. (1998). *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*. Dordrecht: Kluwer Academia Publischer.
- MILLAR, R. & OSBORNE, J. (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. Londres: King's College.
- ORTEGA GUERRERO, C. (1991). *Ciudadanía Independiente*. Mexico: Ortega y Romeu.
- PEDRETTI, E. (1999). Decision making and STS education: Exploring scientific knowledge and social responsibility in schools and science centers through an issues-based approach. *School Science and Mathematics*, 99, 174-181.
- PERRENOUD, P. (2001). La formación de los docentes en el siglo XXI. *Revista de Tecnología Educativa*, XIV, n° 3, pp. 503-523. http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php_main/php_2001/2001_36.html.
- QUINTANILLA GATICA, M. (2006). Historia de la ciencia, ciudadanía y valores: claves de una orientación realista pragmática de la enseñanza de las ciencias. *Revista Educación y Pedagogía*, 18(45) 9-23.
- QUINTANILLA, M. (2006). identificación, caracterización y evaluación de competencias científicas desde una imagen naturalizada de la ciencia. En M. &.-B. Quintanilla, *Enseñar Ciencias en el nuevo milenio. Retos y propuestas* (págs. 17-47). Santiago de Chile: Andros Impresores.
- QUINTANILLA, M. (2007). Discusión en torno a un modelo para introducir la historia de la ciencia en la formación inicial del profesorado de ciencias. En M. Izquierdo, & A. y. Camaño, *Investigar en el horizonte de la química. Nuevos horizontes: Contextualizar y modelizar* (págs. 173-196). España: Universidad Autónoma de Barcelona.
- QUINTANILLA, M. (2007). La enseñanza del modelo atómico de Jhon Dalton desde una visión naturalizada de la historia de la química. En M. Quintanilla, *Historia de la ciencia. Aportes para su divulgación y enseñanza, Vol.II* (págs. 67-86). Santiago de Chile: Arrallan. Editores.
- QUINTANILLA, M. (2010). La historia de la química y sus contribuciones a una nueva cultura de la enseñanza de las ciencias. En J. Chamizo, *Historia y filosofía de la química. Aportes para la enseñanza* (págs. 15-39). Mexico: Siglo XXI Editores.
- SADLER, T. D., Y DONNELLY, L. A. (2006). Socioscientific argumentation: The effects of content knowledge and morality. *International Journal of Science Education*, 28(12), 1463-1488.
- SARTON, G. (1948). *Historia de la ciencia y nuevo humanismo*. Buenos Aires: Rosario.
- TAMAYO A., SÁNCHEZ B., BURITICÁ A. (2010). Concepciones sobre la naturaleza de la ciencia en profesores de educación básica. *Latinoamérica de estudios educativos*, 134-136.

- TAMAYO, O; SANCHEZ, C Y BURITICA, O. (2012). Concepciones de naturaleza de las Ciencias en profesores de educación básica. En Z. A. Claret, & C. Uribe, *La formación de educadores en ciencias en el contexto de la investigación en el aula* (págs. 133-177). Cali: Publicaciones Educyt.
- TORRES, F. (2012). La educación agrícola superior en Colombia y la facultad de ciencias agrícolas de la universidad de Nariño: la educación superior en Colombia. En: *revista de ciencias agrícolas*, 145-147.
- VALENTINUZZI, M. E. (2002). Physiologist, Biophysicist, Bioengineer. Recollections on my 70th Birthday. *The Physiologist, American Physiological Society*, Vol.45, nº5, 474.
- VARELA, F. J. (2013). *Conocer. Las ciencias cognitivas: tendencias y perspectivas. Cartografía de las ideas actuales*. Barcelona: Geidesa.
- VÁZQUEZ ALONSO, A. Y M. MANASSERO MAS. (2012). 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. <http://www.redalyc.org/pdf/920/92024530002.pdf>.

Capítulo 7

Las Mujeres en la Historia de la Ciencia

Núria Solsona i Pairó.

Universidad Autónoma de Barcelona

Índice

Resumen

- 1. Algunas precisiones sobre las nociones*
 - 2. La tradición alquímica*
 - 3. La Química de las 'damas'*
 - 4. La autoría en Marie Meurdrac*
 - 5. La mediación en Marie Meurdrac*
 - 6. Las mujeres en la historia del cuidado de la salud*
 - 7. La mediación textual en Madame Fouquet*
 - 8. La autoría y la autoridad individual en Madame Fouquet*
 - 9. Utilización didáctica y sugerencias para trabajar en el aula*
- Lista de referencias bibliográficas*

Resumen

Estas páginas tienen el objetivo de mostrar el interés de la obra y los textos científicos escritos por mujeres a lo largo de la historia, en la formación del profesorado inicial y permanente, para mejorar el aprendizaje y enseñanza de las ciencias. En particular, se trata de estudiar las biografías contextualizadas y los textos de las mujeres científicas de distintas épocas para visibilizar la tradición de pensamiento femenino e impulsar su utilización didáctica. Con este enfoque se amplía la visión de la ciencia que tradicionalmente ha recogido las aportaciones de los científicos y además, se proporciona a las alumnas de todos los niveles educativos antecedentes que puedan servirles de modelo de identificación y referencia que sirvan de estímulo para incorporarse a los estudios y carreras científicas.

Asimismo, las aportaciones femeninas a la ciencia contribuyen a que el alumnado, femenino y masculino, se familiarice con una visión más real de la tradición científica a lo largo de los tiempos. Si entendemos la ciencia como una construcción humana, es importante tener en cuenta los esfuerzos y contribuciones que han hecho las mujeres y los hombres en la producción, aplicación y difusión de saberes a lo largo de la historia, según la cultura y los valores vigentes en cada momento.

Por ello, en primer lugar, se examinan algunas nociones como *tradición oculta, autoría, experiencia y autoridad*. En segundo lugar, se quiere repensar el uso de los términos en los debates de la historia de la ciencia. Y por último ofrecer algunos ejemplos de mujeres científicas en la alquimia y la medicina y de sus aportaciones que forman la tradición de pensamiento femenino en la ciencia.

1. Algunas precisiones sobre las nociones

La historia de la ciencia se ha caracterizado tradicionalmente por la escasez de obra científica identificada como femenina. De todas formas, si se rastrea con convicción en el pasado científico de occidente, se hallarán muchas más mujeres de las que cabría imaginarse que contribuyeron a la creación de conocimiento y de ciencia (Solsona, 1997a). Pero no se trata de volver a la historia de las grandes científicas porque este enfoque deja a las mujeres sin una tradición en la que insertarse a lo largo de la historia, conduciendo a una experiencia de presente sin pasado. Es preciso recoger el trabajo realizado por distintos grupos de mujeres con un concepto amplio de conocimiento científico. No podemos limitarnos a utilizar las metodologías de las nuevas corrientes historiográficas, que impulsan la historia de las mentalidades o de los colectivos.

Si la participación de las mujeres en la historia no ha sido exactamente igual a la de los hombres, tampoco puede ser analizada de la misma forma. Así, algunos de los problemas metodológicos con los que se enfrenta la reconstrucción de la historia de las mujeres son los criterios de periodización, es decir, las etapas de desarrollo, transmisión e institucionalización de los conocimientos y de la práctica científica oficial, ya que no permiten recoger con precisión las aportaciones de las mujeres a la historia de la ciencia. Además, es necesario tener en cuenta otros muchos factores para valorar la posición relativa de las mujeres en cualquier sociedad o momento de la historia, pero quizá dos de ellos sean los fundamentales: el acceso a la educación y la opinión de la sociedad—y de la ciencia—sobre las mujeres y el significado de ser mujer. Pero también se han de examinar las relaciones de las mujeres reales con el concepto normativo de *mujer* en cada momento histórico.

Fina Birulés (2003) al examinar la posibilidad de una tradición de pensamiento femenino, se remontan a los textos de Platón y señala un rasgo del pensamiento filosófico que supone la *des-aparición* de la experiencia común y reivindica que la tradición filosófica occidental ha salvaguardado la figura de la muchacha tracia. Puesto que las mujeres históricamente se han hallado siempre a una cierta distancia de la comunidad o grupo al cual pertenecían según las apariencias, ellas han sufrido un doble exilio ya que estaban ausentes y cautivas de las palabras que conformaban la vida cotidiana. Fina Birulés (2003) siguiendo a Hanna Arendt indica que entendemos que la tradición es una cadena que ata a cada generación a un aspecto predeterminado del pasado y gracias a ella los seres humanos pueden orientarse en su presente y en relación con el futuro. De manera que la tradición da continuidad, constituye una forma de memoria en la medida que selecciona, da nombre, transmite y

conserva, o sea, indica donde se conservan los valores y cuál es su valor. Entre las mujeres científicas se puede descubrir una *tradición oculta* que sólo se hace explícita en algunas ocasiones históricas. Una tradición oculta que sólo se puede llamar así de forma no tradicional. En la medida que la tradición científica dominante es androcéntrica, a menudo las mujeres tenemos que pensar como si nadie hubiera pensado antes, como si estuviéramos empezando siempre.

Entender la ciencia de un terminado periodo histórico obliga a sumergirse en el mismo para comprender cual era la vida en él. La ciencia es una de las actividades por las que el ser humano se manifiesta como tal y, en consecuencia, se ve afectada por las costumbres de la época. Por otro lado, la ciencia no ha sido un fenómeno local y hoy en día es inaceptable seguir manteniendo la visión eurocéntrica que margina sistemáticamente las culturas científicas y tecnológicas no europeas.

Hoy, la base factual disponible, es decir la cantidad de información respecto a la producción de conocimiento realizada por las mujeres, obliga a replantearse la estrechez de los marcos conceptuales tradicionales de la historia de las ciencias. Para comprender la importancia de la contribución femenina a la historia de la ciencia, hay que situarse en la perspectiva de la lógica de la complejidad, donde la comprensión de unos datos concretos, como la producción femenina de conocimiento sólo es pertinente si movilizamos los conocimientos de conjunto que disponemos para cada caso particular. Para comprender la relación entre las mujeres y las ciencias a lo largo de la historia tenemos que plantearnos algunos interrogantes como: ¿Qué entendemos por ciencia? ¿Cómo se ha construido la historia de las ciencias? ¿Con qué mediaciones contó una determinada autora per hacer su aportación científica? (Sandra Harding, 1991). En los últimos tiempos han empezado a aparecer textos y obras de científicas que la Academia muestra reticencias en aceptar de forma global, en tanto que tradición de pensamiento femenino y que sólo incorpora de forma aislada. Para dar significado a la experiencia de las mujeres y los textos de autoría femenina, es imprescindible partir de una noción extensa de la historia de las ciencias, entendida como la reflexión sobre las formas y las mediaciones simbólicas que se refieren a mujeres que han dejado huellas de su pensamiento y de su acción en diversos campos de las ciencias.

El término *experiencia* es otro concepto fundamental para estudiar la tradición de pensamiento femenino en la ciencia. Fina Birulés (2003) indica que proviene del latín *ex-perior*, probar comprobar, poner a prueba, pero también intentar, tentar, 'pasar a través de'. En un primer momento, 'experiencia' tiene un contenido activo procesual que con el tiempo fue adquiriendo un significado más pasivo. En la tradición científica moderna, la experiencia científica corresponde al intento de reproducir de forma estereotipada algún fenómeno de la naturaleza que se intenta reproducir en el laboratorio par analizarlo como un hecho científico. Pero Fina Birulés (2003) señala que el término 'experiencia' tiene varios usos y recupera un significado filosófico de experiencia que tendría que ver más 'con la memoria, con la transmisión, con la repetición, con aquello que cada generación transmite a la siguiente y, por tanto se encontraría conectada con algún tipo de continuidad'. Este uso del término 'experiencia' tiene conexiones con otros como autoridad o sabiduría práctica, y no con los de ciencia empírica, tal como lo ha identificado la ciencia actual.

Por último, el concepto de *autoridad* concreta, terrenal, vinculada a los valores, una autoridad que aparece si se estudian las contribuciones del pensamiento femenino. Se identifica la práctica de la autoridad femenina cuando se entiende como mediación. Etimológicamente autoridad viene del latín *augere* que significa 'capacidad para hacer crecer'. En este significado del concepto autoridad se apoya la autoridad femenina, y como categoría de análisis, me permite rastrear las historias de las científicas y reconocer autoridad a la experiencia femenina, sin medirla con los criterios del patriarcado. Afortunadamente, hoy disponemos de suficientes mediaciones femeninas de pensamiento que nos autorizan para interpretar el momento histórico en que una científica trabajó a partir de su contexto de ser mujer. Una mirada femenina a la historia de las ciencias se orienta a la construcción de saberes conceptuales, y a los saberes deducidos de la experiencia de ser mujer. Para ello es fundamental analizar los textos, las palabras escritas por ella y situarlas en su mundo y en su cultura para poder interpretar los textos de las científicas.

2. La tradición alquímica

La presencia de las mujeres en las tradiciones que han conformado el pensamiento científico a lo largo de los siglos es de mucho interés para el profesorado. Las biografías de estas mujeres permiten suministrar al alumnado ejemplos de mujeres que participaron en las distintas tradiciones anteriores a la ciencia actual.

Una de las primeras figuras de la tradición alquímica fue una mujer, María la Judía, que vivió en el siglo IV. Ella diseñó los primeros alambiques, un instrumento fundamental para la alquimia que son utilizados todavía hoy en los laboratorios. También inventó el Baño María, que continuamos utilizando hoy con su nombre (Solsona, 1997, Alvarez y otras, 2003). No se conservan textos de María la Judía, pero Zósimo de Panopolis describe un alambique, el *kerotakis* en griego, citando sus palabras. También describió la construcción del *kerotakis*:

“Consta de tres partes, una en la que se calienta el material que hay de destilar; una parte fría para condensar el vapor; y otra para recogerlo. Una pieza de metal triangular o rectangular servía para mantenerlo caliente y para evitar que la cera se endureciese.”(Patai, 1982).

Hacia la mitad del siglo XII, las obras alquímicas se tradujeron al latín. Durante la Edad Media, diferentes clases de personas se interesaron por la alquimia, y por lo tanto es difícil distinguir entre iluminados, eruditos y falsarios. La mayor parte de autores quedaron en el anonimato, y lo normal es que no se conozca nada de sus vidas.

Durante el siglo XVI, la alquimia o Arte hermético fue objeto de persecución por la Iglesia católica que la asociaba con las herejías de la época y que consideraba las prácticas de cuidado del cuerpo humano contrarias a la religión católica. Al final del siglo XVI termina una etapa del pensamiento científico que consideraba los fenómenos naturales, y entre ellos los fenómenos químicos como resultado de unas causas ocultas. La actividad química se caracterizaba por la acumulación de

observaciones más o menos coherentes y sus tentativas de explicación. La 'experiencia' consistía en la observación de fenómenos naturales ya fuera en la naturaleza o en el laboratorio, donde se pretendía imitarla. La experimentación en el sentido moderno no se practicaba.

La historiografía oficial califica el siglo XVII de caótico y dominado por el desorden, pero para las ciencias fue una época de mucha innovación. A principios del XVII no hay todavía una doctrina general que explique el acto químico y que fuera admitida por el conjunto de personas que trabajaban en los laboratorios; así cada persona construía su propio sistema que casi siempre tenía coherencia interna. La primera tarea que se planteaban era la de reconocer los primeros elementos que constituían la materia. Las respuestas variaban desde los cuatro elementos de Empedocles revisados por Aristóteles hasta los tres principios de Paracelso. Algunos autores y autoras intentan integrar sus explicaciones de los fenómenos químicos en un sistema ya establecido, como el pitagórico, platónico o aristotélico.

3. La Química de las 'damas'

Marie Meurdrac es una figura con autoridad en la historia de la alquimia. Casi nada se sabe de ella, pero afortunadamente ha llegado hasta nuestros días su obra publicada en Francia *La Chymie charitable et facile en faveur des dames*, es uno de los doce tratados de química escritos en el siglo XVII, en Europa. No se sabe la fecha de su nacimiento ni de su muerte que pudo ser cercana a 1687. El libro tiene una dedicatoria muy galante a Mme. La Comtessa de Guiche que quizás era su mecenas.

La Chymie charitable et facile en faveur des dames es un ejemplo de la química terapéutica de los años 1600. Marie Meurdrac recoge en su libro un conjunto de recetas de medicamentos, esencias, jarabes y productos de belleza que eran de fabricación casera, en el siglo XVII. El tratado tuvo por lo menos cinco ediciones, tres ediciones (1666, 1674 y 1711) se conservan en la Biblioteca Nacional de París. Dos ediciones más (Lyon, 1680 y París, 1687) han sido localizadas en colecciones particulares. Se han identificado cinco ediciones en alemán (Francfort, 1674, 1676, 1689, 1712 y Erfurt, 1731) y una edición italiana (Venecia, 1682).

El título del libro de Marie Meurdrac indica que el tratado está inscrito en la tradición de obras de ciencias escritas por mujeres y dirigidas a las mujeres. Una estrategia que utilizaron las mujeres sabias en los siglos XVII y XVIII, Margaret Bryan, Ellizabeth Grey, Priscilla Wakefield y Jane Marcet escribieron libros de divulgación científica, algunos de ellos dirigidos específicamente a las mujeres (Phillips, 1990; Solsona, 1996, 1997).

La primera edición del libro de Meurdrac fue tres años después del *Traité de la Chymie* (1663) de Christopher Glaser, cinco años después de *The sceptical chemist* (El químico escéptico) escrito en forma de diálogo en 1661, por Robert Boyle. Seis años después del *Traicté de la chymie* (1660) de Le Fèvre, y en 1675, es decir nueve años más tarde Nicolás Lemery publicaría el *Cours de Chymie*. Todas las ediciones de *La*

Chymie charitable et facile en faveur des dames no son iguales. La primera contiene una dedicatoria a la condesa de Guiche, y empieza con unos poemas preciosistas que no estaban todos presentes en las siguientes ediciones. A partir de la tercera edición, el tratado incluye dos grabados de Hornos, extraídos del libro de Lémery de 1675 y un grabado con recipientes de laboratorio extraído del libro de Le Fèvre de 1660. La edición de 1687 reproduce la aprobación de la obra por los Doctores Regentes en Medicina de la Facultad de París, con fecha de octubre de 1672.

En la Introducción de su libro, Marie Meurdrac expresa su deseo de hacer ciencia al señalar

“Cuando empecé este pequeño Tratado, era sólo para mi propia satisfacción, y para no perder la memoria de los conocimientos adquiridos con un largo trabajo, y con diferentes investigaciones que repetí muchas veces. No puedo ocultar que, después de ver que lo he terminado mejor de lo que me hubiera atrevido a esperar, estoy tentada de publicarlo; pero aunque tengo razones para que vea la luz, también tengo razones para guardarlo escondido y no exponerlo a la censura general”.

Y muestra su conflicto interior con el sistema de géneros establecido que adscribía la actividad científica y la enseñanza a los hombres, y dice:

“Me he mantenido sin encontrar una solución a este conflicto interior durante los dos últimos años; me objetaba a mí misma que no es profesión propia de una mujer la de enseñar; que debe mantenerse en silencio, escuchar y aprender, sin mostrar su propio conocimiento; que no es propio de su posición ofrecer un trabajo al público, y en este caso debe ganarse una reputación que no es una ventaja habitualmente para las mujeres, ya que los hombres siempre menosprecian y vituperan los productos de una mente femenina. Además, tales secretos quizás no deberían divulgarse; a causa de mi descripción inadecuada, muchas cosas tendrán que ser revisadas”.

Meurdrac disponía de un laboratorio en el que 'daba lecciones' y señala al final de la Introducción:

“...En cuanto a las damas que se contentarán simplemente con saber, sin querer tener la molestia de hacer las operaciones que ellas juzgan necesarias, a causa del tiempo que hay que emplear y de los diferentes tipos de recipientes y otros utensilios que son necesarios, o que temerán no obtener buenos resultados, me explicaré de palabra si me hace el honor de ponerse en contacto conmigo, y me preocuparé de hacer yo misma lo que se desee que enseñe. He dividido el libro en seis partes: en la primera, he tratado los principios y las operaciones, vasos, hornos, fuegos, característica y pesos; en la segunda, hablo de las propiedades de los simples, de su preparación y del método para extraer sus sales, tinturas, fluido y esencias; la tercera trata de los Animales; la cuarta, de los Metales; la quinta trata del método para fabricar medicinas compuestas, como diferentes remedios verificados; la sexta es para las Mujeres, en la que se trata todo aquello que es útil para preservar e incrementar la belleza. He intentado hacerlo lo mejor posible para explicarme bien y facilitar las operaciones. He tenido cuidado de no ir más allá de mi conocimiento, y puedo asegurar que todo lo que enseño es cierto, y que todos mis remedios han sido probados; por lo cual ruego y glorifico a Dios.”

El siglo XVII marca la llegada de la química experimental y la obra de Marie Meurdrac es al mismo tiempo práctica en sus técnicas de trabajo y a nivel teórico es heredera de la tradición alquímica como sus contemporáneos Boyle, Glaser, Le Fèvre y Lémery. Marie Meurdrac, por su posición experimentalista se aleja de los principios

herméticos que tienen consecuencias difíciles de verificar experimentalmente, sin olvidar en algunos casos la influencia divina. Meurdrac no se manifiesta como cartesiana, a diferencia de su contemporáneo Le Fèvre. Ella se sitúa entre el hermetismo que coloca un Dios en el interior de las cosas y un ateísmo disimulado, entre el empirismo materialista y la imaginación cabalística, y está marcada todavía por la escolástica, pero conoce y valora las opiniones científicas de su siglo. La visión de la alquimia de Meurdrac queda recogida en sus palabras cuando escribe:

La Química tiene por objeto los cuerpos mixtos, en la medida en que son divisibles y solubles, así como los trabajos de extraer de ellos los Tres Principios: Sal, Azufre y Mercurio; lo cual se realiza mediante dos operaciones generales, llamadas Disolución y Congelación."

Hablando de los tres principios de Paracelso, la Sal, el Mercurio y el Azufre, dice:

"Quienes han escrito de estas materias están menos ligados a la demostración que a la especulación, en la que a menudo la gente se equivoca, pues la Teoría y la Práctica son habitualmente distintas y la acción nos instruye mejor que la contemplación".

Una idea vanguardista en el siglo XVII que sería retomada por Diderot un siglo más tarde, en la redacción de la *Encyclopedie*. En la Segunda Parte del Tratado 'Los Vegetales' (capítulo 11), *Las Aromáticas y sus virtudes*, sigue refiriéndose a los conocimientos alquímicos y cita los usos médicos de la esencia de romero. Dice Meurdrac:

Un Filósofo (alquimista) moderno estaba en lo cierto cuando decía que cualquier hombre que amara la vida debería tener esencia de Romero en su casa como antídoto universal contra cualquier tipo de enfermedad. Yo la he usado con buenos resultados y he efectuado curas admirables. Se pueden tomar de seis a diez gotas de esta esencia con vino o con una cucharada de té o con agua azucarada, por la mañana, antes del desayuno. Preserva de cualquier tipo de aire infectado, cura la ictericia, corta el malhumor, desvanece la melancolía, hace reír, cura la Apoplejía, la Angina y la Letargia inmediatamente; hace la respiración suave y proporciona un aspecto sonrosado, reconforta el estómago y ayuda a la digestión, tomada tal como se ha descrito (Meurdrac, 1666, p.65).

En la Cuarta Parte del Tratado “Los Minerales y los Metales“, en la introducción deja clara su posición frente a los debates alquimistas al escribir:

“Cuando he empezado este libro me he propuesto no pasar de mis experiencias. Es por esto que suprimo de esta Parte las operaciones sobre el oro y la plata, de las que no conozco sus preparaciones, ni sus utilidades en Medicina. He visto varias operaciones a las que se da el nombre de Oro potable, de tintura de oro, de aceite de plata, que no he podido comprender; no pueden persuadirme que unos cuerpos tan perfectos y condensados fuesen licuables. No es que condene estas operaciones por no poder concebirlas; sería tan temeraria como los ciegos que aseguran que no existe el sol porque no pueden verlo” (Meurdrac, 1666, p129).

Meurdrac es una ferviente partidaria de la experimentación y para convencer al público lector que no es necesario disponer de un horno para hacer química, dice:

“Para desengañar (a los que piensan que hay que tener un horno para hacer química) de este error y darles facilidades, digo que los hornos no son absolutamente necesarios, porque se pueden hacer todas las operaciones sobre un trespiés rodeado de ladrillos, o sobre un hornillo, o en un rincón de la chimenea”.

De acuerdo con su propósito de acercar el trabajo experimental a cualquier persona aficionada, en el capítulo IV *Las operaciones de la Química*, propone:

“A falta de un horno se puede hacer fuego en la Chimenea con ladrillos, y acercar el fuego de cuando en cuando. Este fuego se llama fuego de Rueda”. (Meurdrac, 1666, p.36).

Meurdrac es un testimonio de las preocupaciones de la alquimia del siglo XVII. La *Chymie charitable et facile en faveur des dames* es algo más que un Tratado de química terapéutica. Tiene una diferencia respecto a los otros Tratados contemporáneos: habla de las composiciones para el embellecimiento de la cara, de los cosméticos. Las cinco primeras partes del libro están dedicadas a la preparación de esencias, espíritus, aceites, tinturas, vitriolos, magisterios, arcanos, aguas compuestas, vinos aromáticos, jarabes, tisanas, píldoras, bálsamos, emplastos,... medicinales. Meurdrac se dirige específicamente a las mujeres en la Sexta Parte del libro. Su estilo de escritura pone de manifiesto su conocimiento de las manipulaciones experimentales, dando todo tipo de detalles en la realización de algunas operaciones difíciles. Meurdrac superó los límites habituales del trabajo en la tradición alquimista, derivados de la experiencia masculina y los amplió con las prácticas y la experiencia de las mujeres contemporáneas relacionadas con la belleza. En la Introducción correspondiente a la Sexta Parte, *Compuestos para el embellecimiento de la Cara*, Meurdrac anima a las mujeres a aprender de forma autónoma al plantear:

“He añadido esta Parte a mi Libro en favor de las Mujeres, para advertirles de un infinito número de accidentes que ocurren poniéndose cosas en la cara, si ellas no conocen su composición. Yo facilito las operaciones, y me explico lo más claramente que puedo, para enseñarles a hacer a ellas las cosas que necesitarán. Escogerán las Aguas y las Pomadas que les serán adecuadas; lo que es bueno para una piel no lo es para otra. Hay que nutrir las pieles delicadas, y las grasas, humedecerlas. Es por ello que hace falta Agua de carne, de leche o pomadas. Para las personas grasas, que tienen una piel aceitosa, hay que desecarla; las aguas son buenas para este efecto, entre ellas algunos ácidos como vinagre destilado, jugo de limón, agua de la Reina de Hungría; e incluso para las pieles rugosas que hay que limpiar y desgastar; preparar la piel más delicada; a menudo, las aplicarán sobre sus caras al principio para hacer la piel, después la mantendrán, y la nutrirán con cualquier agua, o pomada, tal como ellas lo juzguen conveniente. Especialmente aviso a las Mujeres para que pongan en sus composiciones para la cara, la menor cantidad de Alcanfor que puedan; pues estropea y hace perder los dientes, y causa muchas congestiones. Para el Mercurio, el Sublimado, y el Estaño de hielo, yo aconsejo no utilizarlos para nada; además de que destruyen la belleza facial cuando se usan durante largos periodos, producen enfermedades peligrosas que a veces son incurables: por esta razón, las Mujeres deben tener cuidado [en su uso]. Doy además una cantidad de secretos y de operaciones para el embellecimiento tanto para los cabellos, los dientes y las manos, que para conservar los guantes, los pañuelos y las tocas de día y de noche, y hacer los forros de la máscara. Doy también el método para preparar tisanas para engordar, dormir y conservar la gordura”(Meurdrac, 1666, p.190).

El 'Sublimado' y el 'Estaño de hielo' citados por Meurdrac corresponden al Cloruro de Mercurio (II) y al Bismuto actuales. Para la preparación de 'agua de cal' para el mismo efecto (depilación) indica:

“El agua de Cal viva destilada opera más rápidamente que las precedentes, es suficiente con

una sola vez, pero también es más violenta. Tomad la Cal viva tal como sale del horno, reducidla a polvo, y ponedla en una Retorta, que llenareis las tres cuartas partes, después destilaréis al fuego de rueda. Sale poca agua en esta operación. Se aplica con una pluma sobre el lugar que se quiere depilar; y hay ponerse lejos (en la preparación). Después de aplicarla hay que frotar el lugar con la pomada, o con el aceite de las cuatro semillas frías; es suficiente con una sola vez” (Meurdrac, 1666, p.227).

4. La autoría en Marie Meurdrac

Marie Meurdrac fue una autora ya que generó directamente un texto con opinión propia sobre los debates químicos de la época y además, una mujer a quién se le reconoció autoridad. Marie Meurdrac, además de publicar su libro, probablemente disfrutó la libertad de estar situada en los márgenes del saber y de no tener que ganarse el consenso de sus contemporáneos o de sus colegas y esto le dio más libertad de pensamiento. Para afirmar su autoridad recurrió a la genealogía femenina y utilizó la estrategia de otras mujeres como Christina de Pizan (1405) diciendo en la Introducción de su libro:

“Por otro lado, me halaga el no haber sido la primera mujer que ha publicado algo; ya que la mente no tiene sexo, y si las mentes de las mujeres fueran cultivadas como las de los hombres, y si se dedicara más tiempo y energía a instruir las desde el principio, después serían iguales que las de los hombres: que nuestro siglo ha visto nacer mujeres que no tienen nada que envidiar a la habilidad y capacidad de los hombres en la Prosa, la Poesía, las Lenguas, la Filosofía e incluso el gobierno del Estado”.

Meurdrac se siente autorizada como mediadora de conocimiento para escribir el libro y para ofrecerlo a otras personas:

“Además, este trabajo es útil y contiene una cantidad de remedios infalibles para la curación de las enfermedades y la conservación de la salud, así como varios secretos de mucho valor para las Mujeres; no sólo para preservar, sino también para incrementar las ventajas que han recibido de la Naturaleza; éste es un trabajo meticuloso que enseña verdaderamente y de manera cuidadosa cómo practicar de manera fácil; y podría ser contrario a la Caridad esconder el conocimiento que Dios me ha dado, el cual puede usarse en beneficio del mundo entero. Éste es el único motivo que me ha decidido a dejar que este libro salga de mis manos... Yo pido todavía...” (Meurdrac, 1999, 18).

Meurdrac, en tanto que autora manifiesta su opinión para intentar aclarar las confusiones propias de la época, de acuerdo con los conocimientos del siglo XVII y cuando habla de la 'Sublimación' dice:

“Varias personas han confundido la destilación con la sublimación; es bien verdad que en las dos se hace la elevación, en la una de las partes fluidas y líquidas, es por eso que se llama destilación, desde el momento que los humos que se elevan caen en el agua; no es lo mismo que la Sublimación, ya que son las partes más espirituales, ligeras y secas que se elevan y se adhieren al cuello del vaso...” (Meurdrac, 1999, 37).

En la Primera Parte del libro, en el Capítulo VI *De la Pared de los vasos* sugiere un consejo personal en el que llama la atención el tono de simplicidad que da a unas actividades habitualmente rodeadas de secretismo y dificultades:

“Varias personas han escrito sobre las Paredes de los vasos, y los han hecho de tantas drogas, que ocho días no serian suficientes para hacerlos; para mí, siguiendo mi simplicidad habitual, ver lo que os aconsejo. Tomar barro cocido seco y reducido a polvo sutil, que diluiréis con claras de huevo bien batidas; un paco de borra abierta, limaduras de hierro bien deshechas, o arena, y un poco de orina, pastar todo el conjunto con consistencia de pasta, y recubrir vuestras retortas, matraces, y otros vasos que dejareis secar suavemente al aire sin fuego, ni Sol. Este recubrimiento resiste al fuego. Para reparar los vasos rotos, reducir la cal viva en polvo, y diluirla con clara de huevo;...” (Meurdrac, 1999, 46).

5. La mediación en Marie Meurdrac

La voluntad de Marie Meurdrac de divulgar los conocimientos de los círculos restringidos de la alquimia queda clara en la Introducción del libro y la reitera en la introducción de la Quinta parte del Tratado titulada *Las composiciones para la salud*. Al respecto señala:

“Yo no pretendo beneficiarme de los remedios que doy a la luz, como si los hubiera compuesto: declaro que la mayoría es de las prescripciones de los Médicos más considerados de la Facultad de París, que los han dispuesto caritativamente a unos pobres enfermos, que yo he puesto en práctica; y han dado muy buenos resultados. Otros me han sido dados por mis amigos. No puedo negar que hay algunos de mi composición, en los que la experiencia es muy fiable. Puedo asegurarlo, ya que los he experimentado todos. ... Yo pido a todas las personas que encuentren consuelo en estos pequeños remedios que se acuerden de mí en sus plegarias a Dios. Es la única gracia que les pido” (Meurdrac, 1666, p.155).

Cuando habla de la destilación al baño María, Meurdrac reconoce la autoridad de María la Profetisa:

Esta destilación se llama con el nombre de la mujer que la inventó, María, la hermana de Moisés, llamada la Profetisa, que escribió el libro titulado Las Tres Palabras. Se hace de la manera siguiente. Tomareis un caldero, en cuyo fondo pondréis un círculo o un Trespiés de la altura de dos dedos... (Meurdrac, 1666, p.34).

También cita a médicos y botánicos como Rucepissa, Avicena, Mattioli, Dioscorides, Delechamps (Meurdrac, 1666, p.65). No podemos saber si, tal como manifiesta en la introducción los deseos de Meurdrac para que la tuvieran presente en sus plegarias se cumplió, pero algunas de sus recetas fueron recogidas en posteriores publicaciones. Por ejemplo, el 'Emplasto de jabón' fue posteriormente reproducido con el título 'Emplasto soberano para los dolores de matriz y otros' en la *Colección de remedios fáciles y domésticos recogidos por las órdenes caritativas de una ilustre y piadosa Dama* (1676) de Madame Fouquet. Este libro prosiguió con la labor divulgadora y de mediación iniciada por Meurdrac, pues tuvo hasta veinte ediciones.

La Sexta parte del libro de Meurdrac *Las Composiciones para el embellecimiento de la cara* son el 'resultado de prácticas vivas que tienen en su origen una práctica femenina', de modo similar como señala Montserrat Cabré (2003) respecto al recetario de Juana Fernández del siglo XVI. En la Sexta Parte, Capítulo II propone Meurdrac la preparación de 'Agua de la Reina de Hungría', donde ejerce una mediación textual encadenada entre la Reina de Hungría, la Emperatriz Dona María y ella misma. Esta es una forma de autorización que consiste en buscar vínculos con otras mujeres y hacer el reconocimiento de sus maestras. Dice en la receta:

“Esta Agua lleva el nombre de una venerable Princesa, que la utilizó felizmente, dando testimonio en uno de sus escritos, que se encontró después de su muerte, he aquí su verdadera copia. En la ciudad de Budes del Reino de Hungría, el doce de octubre de mil seiscientos cincuenta y dos, se encontró escrita la presente receta en las Horas de la Serenísima Isabel, Reina de susodicho Reino. Yo Dona Isabel Reina de Hungría, de setenta y dos años de edad, muy enfermiza y gotosa, habiendo usado un año entero la siguiente receta, que me dio un eremita que no había visto nunca antes, y no he sabido ver después, que me hizo tanto efecto en mí misma, que al mismo tiempo me curaba y recuperaba las fuerzas; de manera que parecí tan bella a cualquiera, el Rey de Polonia quería casarse conmigo: yo rehusé por el amor de mi Señor Jesucristo, y del Angel por el que yo creo que esta receta me fue dada. Tomar agua de vida destilada cuatro veces, dos libras; puntas y flores de Romero veintidós onzas, que hay que poner en un vaso bien tapado durante cincuenta horas; y después ponerlo todo en un alambique para destilar al Baño María. Se tomará el peso de un dracma por la mañana una vez a la semana, en un caldo de carne: hay que lavarse la cara todas las mañanas; frotarse el mal, o los miembros enfermos. Este remedio renueva las fuerzas, y da buen espíritu, limpia todas las máculas del cuero, fortifica los espíritus vitales en su naturaleza, recupera la vista, la conserva, y alarga la vida: es excelente para el estómago, y para el pecho si se frota por encima. He obtenido este extraño secreto de un Libro original escrito por la mano de su Majestad la Emperatriz Dona María, hija del Emperador Carlos Quinto; que después de su muerte me fue representado por una de sus Damiselas que lo tenía en su poder; lo he copiado con mi mano, y lo he escogido entre otros secretos que había en él. Cuando se utilice el presente remedio no hay que calentarlo, porque los espíritus más sutiles se evaporarían” (Meurdrac, 1999).

Es interesante analizar el concepto de experiencia en Meurdrac que es una forma híbrida entre el significado filosófico de experiencia que tendría más que ver 'con la memoria, con la transmisión, con la repetición y con aquello que una generación transmite a la siguientes, estableciendo algún tipo de continuidad' (Fina Birulés, 2003) y el concepto de experiencia empírica. El primer uso del término conecta con autoridad o sabiduría práctica. La unidad de peso utilizada por Marie Meurdrac es el *dracma* equivalente a 3,594 g, la misma unidad utilizada por Madame Fouquet en sus Obras Médico-Quirúrgicas (1872).

6. Las mujeres en la historia del cuidado de la salud

No es posible poner fecha la existencia de la primera mujer dedicada al cuidado de la salud, sino más bien afirmar “las mujeres siempre fueron sanadoras” (Achterberg, 1991). Numerosas tablillas encontradas en investigaciones arqueológicas permiten creer que el texto médico más antiguo se recoge en dos tablillas sumerias “En la tumba del emplazamiento de la Reina Shubad de Ur (3500 a.C.)... se encontraron lo que podrían ser instrumentos quirúrgicos fabricados con sílex y bronce, así como dijes y amuletos” (Achterberg, 1991). Sus teorías sobre el funcionamiento del cuerpo humano fueron transmitidas a través de las rutas comerciales a tierras fenicias, Grecia y Egipto. Las mujeres sumerias practicaron al menos durante dos mil años la medicina. Y en Dinamarca, el 1200 a.C., adoraban a una diosa de la salud Nerthus que aparece representada sujetando a una serpiente. Tenía un gran parecido con Inanna e Ishtar, las diosas sumerias y es probable que fuera por los contactos comerciales daneses o las migraciones indoeuropeas. “La diosa Nerthus garantizaba sus habilidades médicas a los mortales formados a su imagen, por ejemplo, mujeres” (Achterberg, 1991). Las mujeres siempre han sido sanadoras. Fueron las primeras médicas, comadronas y anatomistas de la historia occidental.

Practicaban abortos y actuaban como enfermeras. También fueron las primeras farmacólogas con el cultivo de hierbas medicinales. Durante la Edad Media, las mujeres seguían teniendo un papel fundamental en el cuidado de la salud, en el hogar, en los conventos y en los hospitales. Los tratados de medicina de la época se refieren a las prácticas de las sanadoras, no como aficionadas sino desde un punto de vista profesional. Además, las comadronas tuvieron el monopolio de la atención al parto hasta bien entrado el siglo XVII.

En el siglo XI, los médicos eran muy solicitados entre las clases acomodadas. La Iglesia no se oponía a que Reyes y nobles tuvieran médicos, especialmente si eran sacerdotes o actuaban con su colaboración, pero no veía con buenos ojos la existencia de las 'sanadoras' unas mujeres que actuaban solas, estaban organizadas y tenían poderes sobre la salud. Lo que se discutía era el control de la medicina. En el siglo XIII, las Universidades europeas crearon las primeras escuelas de medicina. Mientras estudiaban los futuros médicos no hacían ningún tipo de prácticas ni manipulaciones. En un momento histórico que la ciencia moderna emergía como una nueva forma de poder y control de la sociedad, los médicos tenían un nivel de conocimientos que no permitían curar las enfermedades, las mujeres sanadoras tenían una práctica acumulada y transmitida entre mujeres que les permitía detentar un cierto poder.

La Iglesia se pudo al lado de los médicos, organizó la persecución contra las sanadoras campesinas, que fueron calificadas de brujas, diciendo que era un combate contra la magia y no contra la medicina. Algunas acusaciones contra las brujas fueron estar organizadas, tener poderes mágicos sobre la salud y 'una sexualidad femenina'. Se promulgaron leyes que prohibían el ejercicio de la medicina a las personas sin formación universitaria, y el acceso de las mujeres a la Universidad estaba vetado, excepto en algunas ciudades de Italia. A pesar de que fue imposible aplicar estas leyes de manera estricta porque había pocos médicos en comparación a la cantidad de sanadoras no tituladas, siempre se aplicó de forma selectiva.

La controversia sobre la 'usurpación masculina' de la ciencia médica donde la contribución de las mujeres había sido mayoritaria fue tan importante como para quedar fijada en el dibujo de la portada de un libro publicado en Londres, en 1793, con un pie de foto que decía: *El hombre-mujer comadrona disecado*. El dibujo pretendía rendir homenaje a las comadronas, que copaban una rama de la medicina en manos de las mujeres.

Para estudiar la contribución de las mujeres en la práctica médica femenina medieval hay que elaborar categorías de análisis que permitan iluminarla con mayor precisión. Montserrat Cabré (2000) propone considerar como especialistas en la práctica de la medicina (*medical practitioners*) a las mujeres que se identificaron a sí mismas con relación a su práctica médica o fueron identificadas por sus comunidades. Con este concepto se ha trabajado en el ámbito de la historiografía médica, en Europa. En distintos países europeos, se han identificado mujeres sanadoras que poseían un conjunto de conocimientos transmitidos de madre a hija, apoyados en la evidencia empírica de años de práctica para curar las dolencias de sectores importantes de la

población que no tenían acceso a la medicina de tradición escolástica. La Inquisición europea controló y reprimió mucho más a las capas seminstruidas que a las élites intelectuales. Entre ellas, por ejemplo las personas lectoras libres, las mujeres, la gente joven y no universitaria (Pardo, 2003).

La historiografía ha interpretado con frecuencia el recurso empírico por la escasa disponibilidad de médicos profesionales autorizados. Pero la antropología ha ampliado estos argumentos, poniendo en evidencia otros factores tales como: económicos, culturales y religiosos. Además, muchos de los preparados de hierbas utilizados por las sanadoras continúan utilizándose en la farmacología moderna.

Una figura importante en la práctica médica femenina fue Hildegarda de Bingen (1098-1179), abadesa del convento de Bingen (Alemania), cosmóloga, médica, miniaturista y música, de acuerdo con la visión de saber medieval. En el siglo XII, ella fue una mujer admirada y de gran autoridad entre sus contemporáneos, consultada por Reyes y Papas. Fue famosa por sus curas y su destreza médica recogida en el libro *Physica* o *Llibre de medicina simple*. En sus libros indica como preparar los medicamentos utilizando diferentes plantas. Es interesante el uso de las proporciones que hace Hildegarda en el siglo XII ya que se considera que hasta el siglo XVI, Paracelso estableció el papel fundamental de la dosis en la administración de los medicamentos. Hildegarda ha sido considerada una visionaria ya que escribía sus libros en forma de visiones. El hecho de escribir, incluso las cartas en forma de visiones probablemente era una forma de revestir su autoridad femenina como si fuera de inspiración divina y, por lo tanto, incuestionable. Por ejemplo señalaba:

"Y he aquí que fue en el año cuarenta y tres del curso de mi vida temporal, cuando en medio de un gran temor y temblor; viendo una celeste visión, vi una gran claridad en la que se oyó una voz que venía del cielo y dijo: "Frágil ser humano, ceniza entre las cenizas, podredumbre entre la podredumbre, di y escribe lo que veas y oigas. Pero como tienes miedo de hablar, eres ingenua e ignorante par escribir, dilo y escríbelo, no fundándote en el lenguaje del hombre, no en la inteligencia de la invención humana, sino fundándote en el hecho que ves y oyes esto desde arriba, en el cielo, en las maravillas de Dios..." (Cirlot, V; Gari, B.1999).

En su obra médica fundamental *Physica* y *Causa et curae*, plantea una discusión de la circulación sanguínea que presagia el modelo de William Harvey en el siglo XVII. "También presagió la causa del contagio y la autointoxicación, la transmisión de la acción nerviosa a través del cerebro, la química de la sangre. Intentó explicar otros fenómenos humores sin recurrir continuamente a la teoría de los humores habitual en su tiempo" (Hurd- Mead, Kate Campbell, 1964). Su teoría de la generación es una versión poética de Aristóteles con añadidos personales: Creía que el hombre proporciona la forma y el alma y la mujer el alimento a partir de la sangre menstrual. Desarrolló gran cantidad de medicamentos, pero no hay constancia de sus aplicaciones prácticas.

Hildegarda de Bingen se formuló preguntas sobre el Universo, que la llevaron a proponer el Sol como su centro. Hay que entender el concepto de 'ciencia' de Hildegarda como un fenómeno medieval que no puede ser calificado como una simple curiosidad, ni se puede comparar a la filosofía ni a la ciencia moderna. En su visión del

mundo se entrecruzan ideas sobre la Naturaleza, el Mundo Moral y el Universo Material, las Esferas, los Vientos y los Humores, el Nacimiento y la Muerte, el Alma, la Resurrección de los Muertos y la Naturaleza de Dios.

En el siglo XII al crearse las Universidades, las mujeres encontraron dificultades para trabajar como sanadoras, excepto en ciudades italianas como Bolonia y Salerno. No obstante, la ley no fue obedecida en la práctica y en 1292, en el censo de París aparecen ocho doctoras (*miresses*). En la Universidad de Bolonia, hacia 1318 Alessandra Giliani, anatomista muy reputada en la realización de disecciones fue una de las mejores asistentes de Mondino de Luzzi (1275 – 1326), “porque podía limpiar venas, arterias y las ramificaciones de los vasos, sin lacerarlos o partirlos, y prepararlos para las demostraciones” (Hurd- Mead, Kate Campbell, 1964). Alessandra Giliani, ideó la técnica para inyectar líquido en los vasos sanguíneos de suma importancia en la anatomía pues permitió estudiar con detalle el sistema circulatorio. Su técnica consistía en extraer la sangre de las arterias y venas de los cadáveres y rellenarlos con líquidos coloreados que se solidificaban, pudiendo trazar, de este modo, el camino que seguían los vasos sanguíneos incluso los más diminutos. Tuvo el reconocimiento de sus contemporáneos y se le colocó una placa en la Iglesia del Hospital de Santa M^a Mereto de Florencia.

Una autora destacable fue Oliva Sabuco de Nantes y Barrera (Alcaraz, Alabacete 1562-1590) que escribió *Nueva filosofía de la naturaleza humana desconocida y nunca conseguida por los grandes filósofos antiguos, la cual mejora la vida y la salud humana*, publicado en 1587. En su libro sostiene que el orden afectivo de la mente produce consecuencias físicas benéficas, así como su desorden conduce a enfermedades. Hay interdependencia entre mente y cuerpo. El organismo es un árbol al revés en el cual el cerebro es la raíz y los miembros sus ramas. En el cerebro reside "la raíz, la causa y principio y oficina del bueno y del mal jugo, de las enfermedades y la salud". Doña Oliva explica lo anterior de la siguiente manera:

“El jugo o quilo blanco de la raíz del cerebro, que nutre o vivifica, por su recta acción, a todo el árbol invertido, por una vía va blanco, por otra va rojo; va por la piel, los nervios y telas y por las películas o membranas de las venas y arterias, y vuelve rojo de las tres oficinas [hígado, corazón y bazo] para la irrigación del árbol a través de las cavidades o alvéolos de las venas y arterias. Mas viciado, esto es, corrompida su acción, penetra todas las vías y no guarda el orden de la naturaleza.”

De manera paralela al estudio de las mujeres sanadoras en Europa, Raquel Martín (2005) ha estudiado las Médicas y Curanderas en la Colima Novohispana, en México, especialmente en el primer tercio del siglo XVIII. Aunque los primeros registros con información se remontan a las últimas décadas del siglo XVI, la documentación más extensa proviene de las denuncias presentada ante el Tribunal del Santo Oficio, durante el año 1732. Luisa de la Cruz y María López son los nombres de algunas de estas mujeres, recogidos en los registros inquisitoriales. Ellas fueron parteras, herbolarias y médicas con amplio reconocimiento de la sociedad de su época. En varias ocasiones, la práctica médica tradicional de estas mujeres consiguió curar males que no encontraban solución en los conocimientos legitimados por la academia.

La transmisión de la práctica médica y los conocimientos de las mujeres de Colima, igual que en el caso de las hechiceras de Veracruz (Raquel Martín, 2005) fueron perseguidos de forma desigual, porque la población indígena no estaba sometida a la jurisdicción del Santo Oficio de la Inquisición mexicana, sino que dependían del Provisorato de Naturales o Tribunal de la Fe de los Indios.

En el siglo XVI, en Francia, Inglaterra e Italia, la medicina que se practicaba en el mundo artesanal y “según la costumbre se permitía a las viudas de los maestros cirujanos mantener sus establecimientos abiertos para realizar sangrías y afeitar barbas”(Klaimont-Lingo, 2001). En el siglo XVII y XVIII las mujeres continúan practicando la medicina, a pesar de ser perseguidas como brujas y de su exclusión de las Universidades. En el XVIII muchas mujeres fueron anatomistas: Anna Morandi Manzolini (1716 –1774), María Pettracini, profesora de anatomía (1780) y M^a Catalina Biheron, experta en fabricar modelos anatómicos.

Obras Médico-Quirúrgicas: *Economía de la salud del cuerpo humano*, (Marie de Maupeau Fouquet, vizcondesa de Vaux (1590-1681).

Marie Fouquet, muy conocida por su labor caritativa al ofrecer ayuda médica a la gente pobre y ser autora de diferentes tratados de medicina. No es fácil conocer la identidad de Madama Fouquet. Una fuente italiana dice que según Caillet podría ser el seudónimo de la marquesa de Montespan, la favorita del Rey Luis XIV que se dedicaba a la práctica de la magia. Parece ser que Dorbon-Ainé (1712) confirmó la existencia de Mme. Marie, hija de Gilles de Maupeau y la prueba definitiva podría ser que la primera edición de la obra, en el año 1675 fue hecha por el hijo de Marie de Montespan, el obispo de Agde. Sus trabajos fueron ampliamente traducidos y reimpresos por toda Europa hasta el siglo XVIII.

Su libro tuvo varias ediciones en francés. Se conoce una edición con el título *Recueil des remèdes faciles et domestiques choisis et expérimentés et très approuvés, pour toutes sortes de maladies recueillis par les ordres charitables de la illustre et pieuse Madame Fouquet, pour soulager les pauvres malades* (1676). Otra edición, *Recueil de recettes ou est expliqué la manière de guerir toute sorte de maux, tant externes que internes, inveterés et qui ont passé jusqu'à presente pour incurables*, de Madama Fouquet. Editado por Jean Certe (1677). La edición del 1687 llevaba el título *Suite du recueil des remèdes faciles et domestiques, choisis, experimentez & approuvez pour toutes sortes de maladies internes & externes, inveterée & difficiles à guerir: Recueillis pour soulager les pauvre malades. Avec un Regime de vie pour chaque complexion & pour chaque Maladies; & un Traité du Lait: le tout par ordre alphabetique*”. Dijon, par Jean Ressayre. Y la edición de 1726, con el título *Recueil des remèdes faciles et domestiques choisis et expérimentés pour toutes sortes de maladies internes et externes, recueillis par les ordres charitables de l'illustre et pieuse Madame Fouquet, pour soulager les pauvres malades. Dijon et Paris*, editor Musier.

Del libro de Madame Fouquet hay una versión italiana *Secreti overo Rimedi di Madama Fochetti. Por sanare con poca spesa ogni sorte de Infermità Interno, ed Esterne, Invecchiate, e passate sino al presente por Incurabili. Sperimentati guadaña medesima Dama. Et in questa nuova impresione aggiuntavi la Terza Parte*. Venezia, por Giacomo Zatta, 1731. Otra versión del año 1739, con el título *I rimedi di Madama Fochetti. Por sanare con pochissima spesa tutta sorte de infermità interno ed esterne, invecchiate, e passate fino al presente por incurabili; Sperimentati guadaña pietà*. Bologna, por Costantino Pissari.

En versión castellana, hay una edición del año 1872, en Valencia con el título *Economía de la Salud del Cuerpo Humano. Prontuario de Secretos Caseros, fáciles y seguros, sacados y comprados de los médicos y Cirujanos más famosos de toda Europa, con la solicitud y caudales de la dicha insigne Matrona, para curar por sí misma en los pobres todo género de males, aún los que hasta ahora han sido incurables*. Traducidos conforme a la impresión correcta y añadida que se hizo en Lion en 1739, del francés a la lengua castellana, por Francisco Monroi y Olaso aumentados como *esquisitas recetas misceláneas, igualmente fáciles y seguras*. Un ejemplar de esta edición se encuentra en la Biblioteca de la Universidad de Barcelona y otro en el *Catálogo del Fondo Antiguo de la biblioteca de Farmacia de la Universidad Complutense de Madrid*. De otra edición castellana hecha en Valladolid, por Alonso del Riego, en 1748, hay una copia en el Museo de la Emigración de Colombres, Asturias y parece que hay por lo menos un par más de copias de otras ediciones en EE.UU. La traducción del volumen de Asturias es de Francisco Moya y Correa, con el título *Recopilación de recetas... una colección de remedios homeopáticos para una variedad de enfermedades*.

Un ejemplar del libro de Madame Fouquet editado en Valencia, el 1771 está registrado en la biblioteca de la Universidad Autónoma de Puebla, México. Y tres ejemplares del libro de Madame Fouquet formaban parte de un cargamento de treinta cajas de libros que transportaba un barco de una compañía venezolana en 1774, cuando salió de un puerto vasco. Sus recetas fueron buenas para los animales y para sus propietarios. Contribuyó en 1688 en un libro de título *Remede universel, pour les pauvres malades, leurs bestiaux, leurs volailles, et oyseaux*.

Los libros prácticos de Marie Fouquet ofrecían curas para un abanico amplio de enfermedades de personas adultas y criaturas, desde problemas de los dientes hasta afecciones nerviosas. Ella describe, por ejemplo, quince pociones diferentes para curar el dolor de muelas, con ingredientes como azúcar, cenizas, miel y pimientas. Fouquet proporciona una variedad de curas para la plaga bubónica, las erisipelas, y la hidropesía, así como por los cortes, los morados y los problemas del embarazo.

La edición española de 1872 es la última que se conoce. Tiene una primera parte titulada *Economía de la salud del cuerpo humano. De los humores que se encuentran en el cuerpo humano*, donde habla de los cuatro humores: sangre, cólera, flema y melancolía, que se derivan de los cuatro elementos: aire, fuego, agua y tierra. Algunos de los apartados de esta primera parte son: *Compleción de los flemáticos*, y

por otro nombre pituitosos, *Complexión de los melancólicos, Complexión de los biliosos o coléricos, Complexión de los sanguíneos, Complexión de los sanguíneos estremados*. A continuación, el libro incluye unas *Notas muy necesarias y dignas de observación: de las opiatas, jarabes y julepes somníferos, De las purgas o medicinas, Epoca en que se deben tomar las píldoras, De los cocimientos, Ayudas o lavativas, Modo de aplicar los remedios tópicos*. A continuación hay una *Advertencia sobre las dosis, pesos y medidas de las drogas y de los licores de que suele hablarse en estos libros de los remedios, para que cualquiera pueda servirse en todo tiempo y país*. Además incluye una sección de plantas medicinales de Hispanoamérica del jesuita Josep Gumilla: *Modo de conocer las plantas y simples que entran en la composición de estos remedios con sus propiedades y virtudes, y la correspondencia de sus números en latín, francés y valenciano*, dónde describe plantas, arbustos, especies, verduras y árboles.

La parte central del libro es una 'Colección de remedios selectos, experimentados y aprobados', que empieza con

“el Emplasto contra todo tipo de llagas, denominado emplasto negro, o unguento negro, indica la manera de servirse de este emplasto. Continúa con el Emplasto excelente para todo tipo de llagues viejas y nuevas, dónde indica las Drogas, y la Preparación. Y así hasta seis Emplastas. Después continúa con el Bálsamo incomparable contra todo tipo de heridas penetrantes y no penetrantes; contusiones y dislocaciones, Receta contra toda clase de heridas y contusiones, Para las contusiones, y para resolver la sangre coagulada, que se llama normalmente equimosis, Receta por reventar cualquier tipo de tumor sin lanceta, Receta por evitar las picaduras y manchas de la cara cuando hay viruelas, Remedio admirable para el mal de estómago y por el cólico, etc. hasta cuatrocientas sesenta y tres entradas.”

7. La mediación textual en Madama Fouquet

Una receta incluida en la edición de 1872 es un ejemplo de mediación textual, puesto que se puede identificar el 'Emplasto soberano por los males de la matriz, y otros muchos' del libro de Madama Fouquet (1739) como una ampliación del 'Emplasto de Jabón' del libro *La Chymie charitable et facile en faveur des dames* (1666). Marie Meurdrac dice en la receta del 'Emplasto de Jabón, incluido en el Capítulo VI de la Quinta Parte. Composiciones por la Salud:

“Tomad aceite de oliva dos libras, Minio una libra, Cerusa en polvo impalpable media libra. Hacéis calentar el aceite en una paella, o un recipiente. Cuando el aceite empiece a hervir, ponéis despacio el Minio y la Cerusa, y removéis continuamente con la espátula de madera, hasta que se hayan incorporado bien al aceite; después añadís despacio el Jabón de Gênes cortado a rebanadas bien pequeñas, y revolvéis hasta que coja un color grisáceo Entonces poned una gota en un plato de estaño; y si no se pega nada en el plato, esto es señal que está cocido. Entonces mezcláis dos onzas de aceite de trementina y removéis hasta que esté frío, y haréis rollitos o magdaleones sobre una mesa para usarlos tal y como se indica. Se aplica sobre un cuero sin desfilar: un emplasto sirve tres días. Cura las úlceras, y las erisipelas, las llagas y las quemaduras: diluye y vuelve a soldar los abultamientos: disipa las durezas y los tumores, si se pone de manera continuada. Además es adecuado para toda clase de llagas” (Meurdrac, 1666).

La Cerusa es el Carbonato básico de Plomo, $2\text{PbCO}_3\cdot\text{Pb(OH)}_2$ y el Minio o

Azafrán de Saturno es Pb_3O_4 . Un magdaleón es un término farmacéutico que designa un cilindro de masa pilular hecho a mano o a máquina, que se corta a mano en pequeños trozos iguales para hacer las píldoras. Madame Fouquet recoge la receta de Marie Meurdrac y propone un 'Emplasto soberano para los males de la matriz, y otros muchos' con los mismos ingredientes y un método parecido pero ampliado.

8. La autoría y la autoridad individual en Madama Fouquet

La autoría de textos es una forma privilegiada de reconocimiento de la autoridad de la capacidad de alguien para escribir aquello que se considera significativo o nuevo. Actualmente se considera una capacidad individual, pero en la edad media la autoría individual no era valorada en la misma medida en qué lo ha estado en las sociedades modernas. De hecho, funcionaba de forma inversa que en el mundo moderno: era el reconocimiento de autoridad el que creaba la autoría, en un proceso en qué el origen y o/la fuente del saber podía estar completamente ausente de la propia producción del texto. Así conocemos el pensamiento sutil y complejo de algunos intelectuales a través de los apuntes que sus estudiantes tomaban escuchando sus lecciones. Y sobre todo tenemos el ejemplo de los Evangelios: el texto del saber por excelencia, un texto del que Jesús está ausente como autor, aunque es su autoridad previamente reconocida, la que genera la escritura (Montserrat Cabré, 2005). Una escritura que es el resultado de la mediación hecha por alguien a quien se le reconoce autoridad como testigo narrador de algo atribuible a otro.

Por otro lado, en el siglo XVII todavía tienen importancia otros factores, como la cultura manuscrita. Una cultura en la que los textos quedaban abiertos a la intervención silenciosa de los editores, de forma que al texto original se le añadía otros textos de transmisión oral que se consideraba que enriquecían la obra. La oralidad jugaba un papel fundamental no sólo en la transmisión de textos sino, propiamente en su génesis (Montserrat Cabré, 2000) Por esto, el nombre de los editores consta en todas las ediciones, incluso a veces en el caso de Madame Fouquet, en lugar más preeminente que el nombre de la autora. En la edición de 1687, en la nota 'El Editor español al público' hace un reconocimiento de la autoridad de Madame Fouquet:

“La utilidad que el público ha recibido de la Colección de remedios de la ilustre Madama Fouquet, ha sido tan notoria para todos los enfermos pobres que han obtenido miedo su medio el grande consuelo de la salud, que sería posible perder la memoria y la utilidad que su conocimiento proporciona.”

Las matrocadoras o las relaciones de patronazgo tenían una función directa muy importante en la producción de textos. Así, en la nota del editor de la edición valenciana de 1687 *A las señoras piadosas y caritativas* dice:

Señoras: Esta colección de remedios es un regalo con que una de las matronas más ilustres, más devotas y más caritativas del reino, ha enriquecido a los pobres; yo me creería culpable como ellos si al hacer una impresión aumentada más de la mitad, no la dedicara a las protectoras de la clase misera”.

En la misma edición valenciana, hay un 'Prólogo a la Segunda Edición', habla de:

"...los constantes y los repetidos aciertos de las recetas escogidas y particulares que contienen que puede subir a más alto grado de estimación entre los médicos y cirujanos de mayor número. Prueba indefectible y notoria de esta verdad son las repetidas impresiones que desde el fin del siglo diez y seis pasado se han hecho de estos milagrosos libros de Francia y fuera de ella".

9. Utilización didáctica y sugerencias para trabajar en el aula

En cualquier intervención didáctica existe un conjunto de concepciones implícitas que forman parte del *currículum oculto*, entre las que se encuentra el modelo de ciencia del profesorado y el que se presenta en los libros de texto. Un modelo de ciencia que desmitifique su supuesta neutralidad y objetividad, que contemple a ésta como una construcción personal y social resaltando la responsabilidad de las comunidades científicas ante los problemas de la humanidad, puede ser más favorable a las aportaciones de las mujeres a la historia de la ciencia.

Para avanzar en la construcción de saberes científicos, sin la atribución de masculinidad que hoy comportan, se debe tener en cuenta que las ecuaciones establecidas entre mente, razón y masculinidad, y las dicotomías mente-naturaleza, razón-sentimiento o masculino-femenino, por citar algunas de las más relevantes, han variado a lo largo de la historia. Así, a lo largo del siglo XVIII, época de construcción y consolidación de la ciencia moderna procedente del siglo anterior, las definiciones de lo *masculino* y de lo *femenino* se fueron polarizando para adecuarse mejor a la división entre el trabajo y el hogar, necesaria para la nueva estructura económica y social que se impondrá en el siglo XIX. Se trata de reconstruir la historia de las científicas, de manera que recoja la relación entre las mujeres y el conocimiento. Para ello se ha de trabajar con una noción extensa de la historia de la ciencia, entendida como una reflexión sobre las formas y las mediaciones simbólicas.

El análisis de la experiencia de las científicas no puede ser abordado con los conceptos actuales. Las palabras escritas por ellas no pueden adquirir significado sin situarlas en el contexto científico-filosófico de la época correspondiente. Es necesario situar las palabras en su mundo y en su cultura. Sin este trabajo es imposible recuperar el significado de los textos para que puedan responder a las preguntas que se le planteen. Interesa, asimismo, detectar en qué momento surgen nuevas formas de lenguaje o de representación, como por ejemplo en la Edad Media, en la tradición alquimista, o en el nacimiento de la ciencia moderna.

La mejor forma de trabajar para visibilizar la participación de las mujeres científicas a lo largo de la historia es conocer sus biografías contextualizadas y analizar sus textos. Para ello es útil tener en cuenta algunas consideraciones didácticas. Antes de realizar la lectura de cualquier texto, es necesario tener algunas ideas sobre el contexto histórico de la época en el que fue escrito y los conceptos de autoría, autoridad y tradición en cada momento histórico. Asimismo, en función del nivel educativo y la profundidad del análisis que se quiera realizar, se deberá conocer

las características de la escuela filosófica o la tradición científica y los problemas que se proponían analizar. También sería de interés que se dispusiera de unas someras referencias sobre la situación de la mujer en el momento histórico en que vivió. Para ello, pueden ser útiles las informaciones disponibles en los buscadores electrónicos si se utilizan de forma contrastada. Para ampliar el trabajo bibliográfico del alumnado, se puede sugerir que consulten algún manual de historia de la ciencia y alguna enciclopedia de la historia de las mujeres.

Las orientaciones didácticas a tener en cuenta para que el alumnado valore las aportaciones de las científicas son las mismas requeridas para el trabajo de aproximación a textos históricos. El análisis de la experiencia de las científicas en los distintos períodos históricos no puede ser abordado con los conceptos de nuestro siglo. Las palabras escritas por ellas adquieren significado cuando se relacionan con la manifestación de libertad que supuso escribirlas. Hay que vencer las murallas de los siglos para resituar las palabras en su mundo, en su cultura para reconstruirlas y recontextualizarlas. Sin este trabajo es imposible recuperar el significado de los textos para que puedan responder a las preguntas que les planteamos. Es necesario tomar todas las precauciones para no incurrir en anacronismos, desconsiderando o despreciando por ejemplo las reflexiones de las científicas porque sus explicaciones no son correctas actualmente, o bien minusvalorando los saberes empíricos que fueron una forma de conocimiento privilegiado durante siglos. No es necesario insistir en que para analizar los textos, por ejemplo de Isabella Cortese o Marie Meurdrac, si se tiene como única referencia la conceptualización de la química escolar o el conocimiento médico actual, no se dispone de los elementos para juzgar el valor de sus ideas en el campo de la alquimia. Por ello, hay que seguir una línea de trabajo que comporte la obtención de resultados concretos que sean susceptibles de discusión y evitar realizar divagaciones en general.

Dadas las dificultades encontradas para reconstruir la historia de las científicas, a veces no es posible disponer de los datos personales de las mismas, como en el caso de Marie Meurdrac y Madama Fouquet. En estas autoras, el argumento de autoridad científica reside en los conocimientos presentes en las numerosas ediciones de sus obras y su amplia difusión. La experiencia indica que en los casos en que se pueda disponer de una pequeña biografía de la científica, como Emilie du Chatelet y Anne-Marie Paulze e incluso de su fotografía, ayuda a contextualizar, situar y comprender más rápidamente el valor de sus aportaciones.

En particular, las obras de Marie Meurdrac y Madama Fouquet que analizamos en este capítulo son más fáciles de trabajar que las de otras científicas, ya que estas autoras utilizan el formato textual de las recetas, que es uno de los formatos textuales preferidos por las mujeres a lo largo de la historia. Es importante leer e identificar bien el título de los libros de las autoras que se desee analizar, el año y lugar de edición y señalar si el texto va acompañado de dibujos o gráficos propios o extraídos de otros libros. Por ejemplo, el título de Marie Meurdrac 'La química caritativa y fácil a favor de las mujeres' es muy ilustrativo de la intención de la autora. Siempre es útil leer la introducción del libro, analizar la estructura del mismo y si hay

alguna recomendación o nota del editor. Es interesante estudiar si el libro contiene alguna dedicatoria o agradece la labor de algún *Mecenas*. Vale la pena fijarse en las consideraciones acerca del papel de las mujeres en su época que si procede la autora incluye en la introducción del texto. A menudo, las reflexiones sobre la condición de ser mujer en los siglos XVII y XVIII no coinciden con ninguno de los modelos de feminidad existente actualmente y pueden ser objeto de polémica.

Las mujeres científicas, en general, fueron mujeres con autoridad en su época y que posteriormente estuvieron sometidas a procesos de desautorización por las siguientes generaciones o sus obras fueron filtradas por los historiadores de la ciencia. No siempre es posible hacerlo, pero en ocasiones se puede identificar el mecanismo de autorización científica específica que utilizó cada mujer en su momento. Por ejemplo, Hildegarda de Bingen recurrió a la inspiración divina para reafirmar su autoridad, otras autoras recurrieron a sus muchas horas de trabajo y experimentación en el laboratorio, una dedicación no tan habitual en hombres y mujeres del siglo XVII. Algunas autoras como hemos visto en Marie Meurdrac recurren a la medicación textual para afirmar la autoridad y el origen de sus conocimientos, además de reafirmar la genealogía femenina del conocimiento. Otro mecanismo que utilizaron algunas autoras científicas fue el de escribir para otras mujeres. Así lo indica Marie Meurdrac en el título de su libro y Madama Fouquet con sus recetas para todos los aspectos relacionados con la función maternal de las mujeres: el embarazo, el parto, la menstruación, la matriz,...

Cuando se trata de libros de la tradición alquímica y médica es de interés destacar el marco teórico al cual se acoge la autora. Por ejemplo, la teoría del flogisto o los cuatro principios en el caso de la alquimia y los cuatro humores que rigen el funcionamiento del cuerpo humano, en el caso de la tradición médico - farmacéutica. Hay que prestar atención también a la parte cuantitativa del texto: aparatos de medida, unidades.

Para los y las estudiantes las recetas presentes en los textos de las autoras alquimistas, boticarias y farmacéuticas son de un formato más ligero que el utilizado en otras obras históricas y por ello, las recetas son de utilidad didáctica en todos los niveles educativos. En el análisis de las recetas de las científicas es de interés destacar los instrumentos, sustancias, materiales y procesos que se utilizaban en la época y hacer un análisis comparativo con los que se usan actualmente, destacando los que continúan vigentes con las adaptaciones históricas correspondientes. Por ejemplo, el Baño María se utiliza en muchas recetas históricas y hoy se continúa utilizando. El Baño María fue inventado por María la Judía, la primera alquimista de la historia que vivió en el siglo IV en Alejandría de Egipto. Los procesos de disolución, fermentación, ebullición, etc. son habituales en las recetas y es importante estudiar con precisión en que momento se utilizan y como se describen, ya que no coincide con los conceptos de cambio físico y reacción química actuales. Por ultimo, hay que destacar el interés del análisis de recetas para la fabricación de oro y otras recetas imposibles, para intentar averiguar en que momento del proceso descrito sabemos actualmente que no funciona.

Las historiografías que seleccionan las experiencias y biografías científicas en términos impersonales y universales tienden a simplificar las complejidades de la historia de las ciencias. Corremos el riesgo de seguir manteniendo la jerarquía establecida a lo largo de la historia, entre la experiencia científica de los hombres y la de las mujeres. La corriente historiográfica que considera la experiencia de las mujeres, señala que los conceptos que organizan el pensamiento y la cultura no corresponden a formas de pensamiento universales. Por ello, la historia de la ciencia debe incorporar el saber y la autoridad de las mujeres, con una mirada caracterizada por el abandono del universalismo, lejos de un saber confeccionado de antemano que no responda a las múltiples preguntas que podamos formularnos para recorrer el pasado histórico de la ciencia.

Lista de referencias bibliográficas

- ACHTERBERG, J. (1991) *Woman as Healer*. London, Rider
- ALVAREZ, M.; NUÑO, T.; SOLSONA, N. (2003) *Las científicas y su historia en el aula*. Madrid, Síntesis.
- BIRULÈS, F. (2003) *La memoria de la muchacha tracia. Notas sobre mujeres, filosofía y experiencias otras*. Arenal, 10:1, 9 - 19
- CABRÉ, M. (1993) *Kate Campbell Hurd and the medic women's struggle for history*. Collection 26. The Medical College of Pennsylvania, USA
- CABRÉ, M. (2003) *La autoridad femenina en la historia de la práctica científica*. Master Duoda Online. Universidad de Barcelona.
- CABRÉ y PAIRET, M. (2000) "Nacer en relación" en Montserrat Cabré y Pairat et al. *De dos en dos. Las prácticas de creación y recreación de la vida y la convivencia humana*. Madrid, Hora y horas.
- CABRÉ, M. (2005) *La autoría femenina, en "La diferencia de ser dona"* Barcelona, Duoda
- CIRLOT, V.; Garí, B. (1999) *La mirada interior*. Barcelona, Martínez Roca
- GREEN, M. (1989) "Women's Medical Practical and Health Care in Medieval Europe", *Signs*, pp. 435-473.
- FOUQUET, M. (1872) *Obras Médico Quirúrgicas*. Valencia, Servicio de Reproducción de libros. Copia facsímil.
- HARDING, S. (1991). *Whose Science? Whose Knowledge?* Buckingham, Open University Press.
- HURD-MEAD, K. (1964) *Great Women of Medicine*. New York, Random House
- KLAIRMONT-LINGO, A. (2001) *Las mujeres en el mercado sanitario de Lyon en el siglo XVI*, en Cabré, Montserrat y Ortiz, Teresa (ed.) *Sanadoras, matronas y médicas en Europa, siglos XII-XX*. Barcelona, Icaria
- MARTÍN SÁNCHEZ, R. (2005) *Hechicera en la Colima Novo-hispana: En busca de una genealogía femenina de la práctica médica*. Duoda, 29 33 - 59
- MEURDRAC, M. (1999) *La Chymie charitable et facile en faveur des dames* (1666) Paris, CNRS Editions.
- PARDO TOMÁS, J. (2003) *Censura inquisitorial y lectura de libros científicos. Una propuesta de replanteamiento*. *Tiempos Modernos. Revista Electrónica de Historia Moderna*, 4 (9) www.tiemposmodernos.org

- PATAI, R. (1982) “Maria the Jewess, the founding mother of alchemy” *Ambix*, vol 29(3)
- PHILLIPS, Patricia: *The scientific lady*. London, Weindenfield and Nicolson, 1990.
- SARTORI, D. (1996). *Nacimiento y nacer en la acción*. A patir de Hanna Arendt. *Duoda*, 11, 135-158.
- SOLSONA, N. (1996) *La voz de las científicas de los siglos XVII y XVIII*. *Ingenium*, vol 5, 125-136.
- SOLSONA, N. (1997) *Mujeres científicas de todos los tiempos*. Madrid, Talasa
- SOLSONA, N. (1998) *Desde la antigüedad a la ciencia moderna, los avatares del binomio mujer y ciencia*. Zaragoza, *Mujeres*, 7, 13 -18.
- SOLSONA N. (2000) *La autoridad de las científicas a lo largo de la historia de la ciencia*. en Alicia Gil (ed.) *Mujeres. Mediar para reconocer otros mundos en este mundo*. Castellón, Fondo Social Europeo.
- SOLSONA, N. (2001) *Itinerarios epistemológicos de las científicas a lo largo de la historia*. Castellón, *Asparkia*, 12, 99 – 112.
- SOLSONA, N. (2002) *Hacer ciencia desde la autoridad de las mujeres*. *Emakunde*, 49, 20-23
- SOLSONA, N. (2003) *El saber científico de las mujeres*. Madrid, Talasa.
- SOLSONA, N. (2009) *El uso didáctico de textos históricos en clase de química*, en Quintanilla, Mario (ed) *Unidades Didácticas en Química y Biología*. Edit. Conocimiento Santiago de Chile, 181-206.
- SOLSONA, N. (2009) *Pequeñas historias de la ciencia: Usando narrativas y estudios de caso en la enseñanza de las ciencias*. *Enseñanza de las ciencias*. Número extra, 3674-3676.
- SOLSONA, N. (2010) *Seguint el fil de l'Obra d'Isabella Cortese. Actes d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, 3(1) 63-77
- SOLSONA, N. (2012) *Marie Curie y algunas categorías de análisis de las biografías científicas*. *Memorias IX Congreso Iberoamericano Ciencia, Tecnología y Género*, ISBN 978-84-7666-24-2.
- SOLSONA, N. (2013) *La historia de la alquimia, textos y prácticas*. *EDENLAQ*, 19(2), 153-165
- SOLSONA, N. & QUINTANILLA, M.(2005) *Reflexions i propostes per al debat educatiu – diàctic entorn a la història de la ciència*. II Jornada sobre la història de Ciència i l'Ensenyament, Societat Catalana d'Història de la Ciència.
- SOLSONA, N. & QUINTANILLA, M.(2012) *La historia de la ciencia en contexto escolar: un ejemplo de uso didáctico de biografías científicas*. Brasil, VIII ENPEC

Segunda Parte

Algunas aplicaciones innovadoras para utilizar la historia y filosofía de la ciencia en el aula

Capítulo 8

La historia de la ciencia en la literatura como insumo para la construcción de “historias de la ciencia”

Agustín Adúriz-Bravo.

Universidad de Buenos Aires

Argentina

Franklin Manrique

Laboratorio GRECIA de Investigación en Didáctica de las Ciencias. Facultad de Educación. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Chile

Mario Quintanilla.

Pontificia Universidad Católica de Chile.

Chile

Índice

Resumen

1. Introducción
 2. Hacia una Historia de la ciencia anclada en “Historias de la Ciencia”
 3. “Historias” de la Ciencia como recurso para el diseño de unidades didácticas
 4. El Periodo Romántico: Breve contextualización
 5. Las Afinidades Electivas: historia de una reacción química humana
 6. Breve revisión histórica del concepto de afinidad química
 7. Recursos para la aplicación de la Unidad Didáctica
 8. Algunas preguntas orientadoras para el desarrollo de la UD:
 9. “¡Está Vivo! ¡Está vivo!”: Reviviendo a Frankenstein en el aula de ciencias
 10. Imágenes de Ciencia y Científico en la Novela
 11. Electricidad y otras Ideas científicas en Frankenstein
 12. Algunas preguntas orientadoras para el desarrollo de la UD:
 13. Retroalimentación
 14. Recursos para la aplicación de la Unidad Didáctica
 15. Comentarios Finales
- Lista de referencias bibliográficas*

Resumen

El presente artículo propone la construcción de “historias de la ciencia” usando como insumo materiales de la historia de la ciencia presentes en la literatura romántica de ficción, las cuales pueden servir de contexto, vehículo y anclaje para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (NOS) al profesorado de ciencias en formación y en actividad. La historia de la ciencia que se sugiere aquí para construir “historias” se extrae de textos literarios del siglo XIX, que aportan lo que llamamos “episodios” y “elementos” con el ánimo de revisar el papel de la historia de la ciencia –como relato y como disciplina– en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (NOS) para el profesorado de ciencias. Para ello se recupera el constructo de “ambientación” (Adúriz-Bravo, 2011), y tomando como insumo la literatura clásica de ficción (en particular, de la novela romántica del siglo XIX) para proveer los “episodios” y “elementos” históricos que sirven de base a las “historias”. Por último, busca brindar directrices para el diseño de unidades didácticas NOS para el profesorado de ciencias utilizando como ambientación extractos literarios comentados y escenas de adaptaciones cinematográficas, seleccionados por sintonizar con una visión de ciencia *como actividad profundamente humana* que se considera formativa.

1. Introducción

La *naturaleza de la ciencia* (conocida como NOS por las siglas del inglés “nature of science”) recibe atención de la didáctica de las ciencias y de la enseñanza de las ciencias en los distintos niveles educativos y en la formación inicial y continuada del profesorado de ciencias (McComas, 1998), emergiendo como un área de contenidos a enseñar que toma impulso desde la nueva reflexión curricular que plantea que la alfabetización científica de calidad para todos y todas, y que ha de combinar saber ciencias con saber *sobre* ciencias (conocimiento *metateórico*): la ciudadanía debería construir una imagen democrática en torno a qué es la ciencia, cómo cambia en el tiempo y cómo se relaciona con la sociedad y la cultura de su época.

Uno de nosotros ha definido la NOS como *un conjunto de contenidos metacientíficos con valor para la educación científica* (Adúriz-Bravo, 2005). Según ello, la NOS se constituiría de modelos teóricos seleccionados primordialmente de la epistemología o filosofía de la ciencia, transpuestos a fin de resultar valiosos para que las personas alfabetizadas aborden con solvencia las preguntas expuestas más arriba. En este marco, resulta interesante señalar un rol específico para otra metaciencia, la *historia de la ciencia*, con el fin de hacer más significativa la enseñanza de la NOS al profesorado. En efecto, la reflexión sobre la ciencia, para ser *racional y razonable* (Izquierdo-Aymerich et al., 2004), debería establecerse sobre algunos contenidos científicos *en contextos donde se analice la creación de esos contenidos*, es decir, donde se responda a la pregunta central de la naturaleza de la ciencia: *cómo hemos llegado a saber eso que sabemos*. Así, la historia de la ciencia pasa así a ser una fuente de *episodios* “profundamente humanos” de construcción de conocimiento y actividad científicas, sobre los que es factible reflexionar mediante *elementos* críticos.

2. Hacia una Historia de la ciencia anclada en “Historias de la Ciencia”

La expresión “historia de la ciencia” es multívoca; con ella se remite al menos a cuatro ámbitos de la realidad distintos, pero complementarios y “anidados” (Adúriz-Bravo, 2011):

1. Lo que “realmente” sucedió en el decurso histórico de la ciencia, a lo cual tenemos un acceso parcial y sesgado, debido a la imposibilidad de recopilar en forma “objetiva” las diversas fuentes de información, de deshacernos de la mirada teórica al valorar el pasado y de evitar tanto presentismo como anacronismo en la lectura de él.

2. Una disciplina académica de carácter metacientífico que se ocupa de investigar eso que sucedió desde metodologías y modelos teóricos propios.

3. El producto de la reflexión de la disciplina sobre aquello que pasó, que se nos presenta en forma de *reconstrucción racional*, cargada de teoría y guiada por intencionalidades y valores.

4. Una *narrativa* que cuenta de determinada manera (con determinados fines) esa reconstrucción racional. Son estas narrativas las que aquí denominamos “historias de la ciencia”.

Nos interesa particularmente esta última, a partir de la cual entendemos las “historias de la ciencia” como relatos de formato narrativo que contienen episodios y elementos históricos propensos para ser empleados en el aula de ciencias. Aquí sugerimos tomar esos episodios y elementos de alguna fuente literaria, a manera de “ambientación” como una forma significativa de anclar la NOS, que además cuenta con el valor agregado de potenciar relaciones interdisciplinarias usando *historias*, *relatos* o *cuentos* como vehículo de *narrativas científicas* que utilizan la *historia de la ciencia*, y como una propuesta de intervención didáctica motivante para el aula de ciencias en la medida en que, debidamente problematizada, permiten humanizar la misma, visibiliza valores científicos, promueve competencias científicas y la discusión de aspectos vinculantes a la naturaleza de la ciencia. (Adúriz-Bravo, 2011). Para las finalidades de la presente propuesta, nos interesan específicamente las relaciones con la literatura como insumo para incorporar dichas “historias”.

3. “Historias” de la Ciencia como recurso para el diseño de unidades didácticas

Para el diseño de unidades didácticas NOS dirigidas al profesorado de ciencias en formación y ejercicio, nos apoyamos en la idea de que las “historias de la ciencia” son una estrategia poderosa que permite anclar los contenidos de la naturaleza de la ciencia. Los episodios y elementos históricos, seleccionados por su valor formativo, sirven de “ambientación” fructífera para las ideas NOS que se quieren tratar en clase con profesores y profesoras, ayudando a crear imágenes de ciencia y de científico más compatibles con la producción metateórica reciente, alejadas de la visión neopositivista ingenua, en el entendimiento de que estas

imágenes “novedosas” son más potentes para poder desempeñarse como ciudadanos y ciudadanas en el mundo científico-tecnológico actual generando asignaturas y unidades didácticas que enseñan ciencias *y sobre* la ciencia con una mirada fuertemente epistemológica e histórica (Adúriz-Bravo, 2008).

Una posible secuencia para el diseño de unidades didácticas NOS basadas en historias de la ciencia contaría con las siguientes etapas:

-Identificar una fuente literaria valiosa, ya sean textos escritos, orales, películas, documentales, historias cortas (1-10 páginas) y ultra-cortas (menos de 1 página). Reportes, leyendas, anécdotas, misterios, biografías, ficción de tipo realista o naturalista, humor, historias originales, adaptadas o diseñadas *ad-hoc* creadas por diversos autores (Adúriz-Bravo, 2011). Al respecto, son abundantes las referencias literarias con episodios interesantes para ser configuradas como “historias de la ciencia”. Sólo por mencionar algunos ejemplos, cabe destacar novelas como *Cola de Gato* de Kurt Vonnegut, *El Sistema Periódico* de Primo Levi, *Tío Tungsteno* de Oliver Sacks, *Las Partículas Elementales* de Michael Houllebecq, La fábula de Aracné, entre otros.

-Extraer de ella episodios y elementos pertinentes para el análisis y la discusión, adjuntando consignas específicas de trabajo con el profesorado, buscando generar intervenciones específicas que enseñan la naturaleza de la ciencia como contenido particular (por ejemplo, el famoso “método científico”) o en relación con contenidos científicos socialmente validados. (Adúriz-Bravo, 2008). Los elementos y episodios seleccionados para nuestras “historias de la ciencia” pueden ser empleados como insumo para identificar y caracterizar las visiones de ciencia y científico presentes en tales episodios, analizar críticamente la consistencia de las ideas científicas expuestas en los episodios, confrontarlas con los conocimientos consensuados por la comunidad científica.

-Las orientaciones en este punto para el tratamiento de las “historias” de la ciencia pueden ir desde lo que pasó (*descripciones*), Lo que pensamos que pasó (*interpretaciones*), lo que pudo haber pasado (*reconstrucciones*), lo que algunos creen que pasó (*leyendas*), lo que a algunos les gustaría que hubiera pasado (*adoctrinamientos*), Lo que no pasó (*ficciones*), lo que está pasando (*reportes*), lo que todavía no pasó (*anticipaciones*).

-En una segunda fase se pueden implementar las “historias” y proceder a su evaluación formal, donde el diseño de actividades de aprendizaje en torno a las historias, promoviendo la construcción de explicaciones científicas teóricamente fundamentadas, la reflexión teórica

4. El Periodo Romántico: Breve contextualización

Para la presente iniciativa, consideramos que la novela romántica del siglo XIX es una fuente potente para ir en búsqueda de episodios y elementos de carácter

histórico a fin de producir “historias de la ciencia” para el profesorado. En este contexto el Romanticismo (Tabla 1), consecuencia ideológica del Renacimiento y sobre todo de la Ilustración, surgió como herencia pero también como reacción contra muchas de sus normas. Si bien el romanticismo continúa exaltando al hombre, la naturaleza y la razón, antepone a esta última la imaginación, el sentimiento y también la fantasía. El principio romántico es que el ser humano puede despertar y activar en la naturaleza la conciencia que la liberará de su inercia y de su materialidad, actitud que tiene importantes consecuencias pedagógicas y científicas. Por una parte, la educación de la juventud ha de profundizar en el conocimiento de la naturaleza y en la intimidad de sus fuerzas secretas. Por otra parte, el desarrollo científico ha de representar, sobre todo, el triunfo del hombre sobre las propias limitaciones. (Esteban y Peral, 2005). En este contexto, nuestras “historias de la ciencia” emanan de dos antecedentes literarios representativos de dicho periodo: Las novelas *Frankenstein o el Moderno Prometeo*, de Mary Shelley y *Las Afinidades Electivas* de Johann Wolfgang Goethe.

Una primera y rudimentaria contextualización de dicho periodo, que comprende los finales del siglo XVIII y alcanzó su auge durante la primera mitad del siglo XIX, puede trazarse a partir de los acontecimientos políticos, artísticos, filosóficos, científicos de la época señalados en la Tabla 1:

Fecha	Acontecimientos políticos, artísticos y filosóficos	Acontecimientos químicos	Acontecimientos científicos y técnicos
1700-1750	Museo Británico. Diderot y d'Alambert: Enciclopedia Un terremoto destruye una buena parte de Lisboa. Independencia de Estados Unidos Kant: Crítica de la razón pura. Mozart: Don Giovanni. Revolución Francesa.	Lomonosov: Discurso sobre la utilidad de la química. Black aisla el dióxido de carbono al que llamó 'aire fijo'. Cavendish aisla el H. Macquer: Diccionario de Química. Rutherford aisla el N. Joseph Priestley aisla el O. Tongmar Bergman: Ensayo sobre las atracciones eléctricas. Los hermanos Elhuyar descubren el W. Scheele descubre la glicerina. Lavoisier: Tratado elemental de química. Richter establece los fundamentos de la estequiometría. La primera sociedad de química del mundo se funda en Filadelfia.	Se abre la primera institución mental en Inglaterra. Bassi establece el modelo sobre el origen de las infecciones. Ley de Coulomb. Ley de Charles. Watt: máquina de vapor. Laplace desarrolla el modelo del surgimiento de los planetas. Luigi Galvani realiza experimentos con electricidad en animales. Bramah inventa la prensa hidráulica. Jenner realiza la primera vacuna. Humboldt inicia su viaje de exploración a América.
1800-1840	La revolución industrial favoreció la concentración de personas y la producción a gran escala a partir de este año. Se estrena la primera sinfonía de Beethoven. La esperanza de vida en Alemania es de 28 años para mujeres y hombres. Napoleón. Estados Unidos compra Louisiana. Johann Wolfgang Goethe publica Las Afinidades Electivas (1809) Independencia de México, Chile, Argentina, Colombia, Perú y Brasil. El Vaticano acepta que se enseñe a Copérnico Hegel: <i>Fenomenología del espíritu</i> Mary Shelley publica de forma anónima <i>Frankenstein o el Moderno Prometeo</i> (1818) Schopenhauer: <i>El mundo como voluntad y representación</i> . Independencia de Bélgica.	Nicholson realiza la electrólisis del agua. Se utiliza el cloro para purificar agua en Inglaterra. John Dalton publica su teoría atómica. Proust indica que todos los elementos están formados de H. Dulong y Petit anuncian la ley sobre los pesos atómicos que lleva su nombre. Humpry Davy logra aislar los elementos sodio, potasio, boro y bario y confirma por electrólisis la existencia del cloro y el estroncio. en 1801 es nombrado miembro de la recién fundada Royal Institution de Londres. Friedrich Wöhler: síntesis de la urea. J.J.Berzelius: teoría electronegativa del enlace químico y tabla de pesos atómicos. Berthelot sintetiza compuestos orgánicos que no se habían descubierto previamente en la naturaleza. Faraday: electrólisis. Graham anuncia la ley sobre la difusión de los gases que lleva su nombre. Se acepta el sistema de Berzelius para nombrar a los elementos empleando la abreviatura de su nombre en latín. Daniell: inventa su pila. Goodyear: vulcanización del hule Hess anuncia la ley sobre el calor de las reacciones químicas que lleva su nombre	Stephenson: locomotora de vapor. Lamarck propuso la teoría sobre la evolución de las especies por adaptación al medio. Ley de Ohm. Oersted descubre accidentalmente el electromagnetismo. Brown descubre el movimiento de partículas muy pequeñas llamado desde entonces movimiento browniano. Sturgeon inventa el electroimán. Primera locomotora de vapor. Lyell: <i>Principios de Geología</i> Se utilizan las amalgamas en odontología. Lobachevski y Gauss Babbage conciben las bases de la computadora. Daguerre: daguerrotipos Henry: motor eléctrico Colt: revólver. Morse: telégrafo.

Tabla 1. Breve contexto socio-científico del periodo romántico. Adaptado de Chamizo, (2011).

1. Las Afinidades Electivas: historia de una reacción química humana

El alemán Johann Wolfgang Goethe (1749-1832) no sólo fue uno de los personajes más importantes de la literatura universal, sino que también se dedicó al trabajo científico, dentro del cual son conocidas sus aportaciones como botánico, anatomista, físico y químico, así como sus escritos con preocupaciones sobre la mineralogía y geología y su teoría de los colores (Gehrt, 1934; Clusky, 1951). En 1809 publicó en plena madurez la que según él fue su novela mejor lograda, *Las Afinidades electivas* (*Die Wahlverwandtschaften*, en alemán) y que cuenta con una versión cinematográfica (Imagen 2), no solo corporiza las características más representativas del romanticismo alemán, sino que constituye una referencia obligada a la hora de hablar de alusiones químicas en la literatura clásica, si bien hizo uso del conocimiento químico de la época para establecer una analogía entre personajes y elementos químicos, relaciones de pareja y las reactividades mutuas (Soledad y Perales, 2005).



Imagen 1. Fotogramas de la adaptación cinematográfica de *Las Afinidades Electivas* de 1996 de Paolo y Vittorio Taviani¹⁰

La historia de la novela se centra en cuatro personajes. Eduard y Charlotte reviven un amor juvenil que había quedado truncado por la oposición de sus respectivas familias y se casan tras enviudar. Los dos encuentran su camino a una unión feliz sólo después de muchos años de matrimonios anteriores mal concebidos. Instalados en un castillo, planean una vida feliz juntos, construir una casa de verano y un parque. Sin embargo, su relación entra en un lánguido impase hasta que invitan a vivir con ellos al Capitán Otto, un amigo de la infancia de Eduard, y a Otilie, una bella joven que es hija de un amigo fallecido de Charlotte (Kim, 2003).

La pasión que surge entre Edward y Otilie, por un lado, y la atracción medida y reflexiva entre el Capitán y Charlotte, podría entenderse como una suerte de “reacción humana de doble desplazamiento” (Ball, 2008), donde los personajes inician un juego repleto de pasión y renuncia que culmina en un trágico desenlace, donde Edward y Otilie se encuentran juntos en la tumba mientras que el capitán y Charlotte permanecen vivos pero con inciertas posibilidades de seguir juntos.

¹⁰ Taviani, P. & Taviani, V. (directores) (1996): *Le Affinità Elettive* (película). Italia. FilmTre films.

La alusión a la historia de la química de la época se torna explícita en el cuarto capítulo de la novela, durante una tertulia nocturna de un texto científico leída en voz alta por Charlotte, en la que el Capitán recuerda lo que había leído tiempo atrás en un libro de química:

“Por ejemplo, lo que llamamos piedra caliza es cal, más o menos pura, íntimamente ligada a un ácido débil, que hemos conocido en forma de gas. Si se introduce un fragmento de dicha piedra en ácido sulfúrico diluido, éste ataca la cal y aparece después unido a ella en forma de yeso, mientras que el ácido débil y gaseoso desaparece. Aquí se ha producido una separación, ha surgido una nueva combinación, y uno se siente autorizado incluso a utilizar el término “afinidad electiva”, puesto que realmente parece como si se prefiriera una relación a otra o existiese una elección preferencial”¹¹”

Entonces Eduard hace el comentario siguiente:

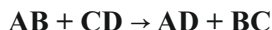
“A fin de cuentas, ves en mí la cal, atraída por el Capitán en forma de ácido sulfúrico, que me arrebató tu encantadora compañía, convirtiéndome en yeso refractario.”

Luego Charlotte replica que:

“el hombre está muy por encima de tales elementos. [...] Por desgracia, son bastantes los casos que conozco en los que una íntima y aparentemente indisoluble unión de dos seres se vino abajo por la casual compañía de un tercero, y uno de los que antes estaban tan bellamente unidos fue marginado y distanciado. [...] En un caso de éstos, los químicos son mucho más galantes. Asocian un cuarto elemento para que nadie se quede solo”.

Al analizar el diálogo, es posible inferir que se sugiere una correspondencia entre las reacciones química y los intercambios de pareja. Más adelante, el Capitán describe un ejemplo “en lenguaje cifrado”, a imagen y semejanza de las primeras ecuaciones químicas (Durán, 2011b):

“Imagínese una A íntimamente unida a una B, de la que no es posible separarla por medio alguno, ni aun por la fuerza; imagínese igualmente una C que se comportase de idéntica manera con una D; ponga usted ahora a las dos parejas en contacto: A se lanzará sobre D y C sobre B, sin que pueda decirse quién abandonó primero al otro, ni quién fue el primero en unirse nuevamente al otro.



Es luego Eduard quien aplica la explicación genérica del Capitán al caso concreto que implica al matrimonio y a sus dos invitados. Así, a partir de este episodio y los fragmentos mencionados, podemos comenzar a hilvanar nuestras “historias” de la ciencia.

1. Breve revisión histórica del concepto de afinidad química

Una revisión a trazo grueso de la historia de la química en ánimos de plantear lo que pudo haber pasado (*reconstrucciones*) con la novela, permite afirmar que su título

¹¹Los fragmentos citados corresponden a la siguiente edición: Goethe, J. (1999). *Las afinidades electivas*. Madrid: Cátedra.

hace referencia a uno de los problemas que habían ocupado a los químicos durante el siglo XVIII: la afinidad entre las sustancias, la razón por la cual *se formaban unos compuestos y no otros, y por qué algunos se deshacían para reagruparse de forma diferente*, utilizando el concepto de *afinidad química* como metáfora para las relaciones amorosas. La base de la estructura teórica de la novela comienza a tomar forma en 1718 con el trabajo de Etienne Geoffroy, quien formuló como una “ley de afinidad” una observación que había sido previamente hecha por autoridades como Geber, Paracelso, Bacon and Glauber:

“Siempre que dos sustancias que tengan una disposición para combinarse se pongan en contacto con una tercera es añadida con una de ellas, estas dos se unirán y desplazarán a la otra.”

Esta ley proporcionó el cimiento para los estudios de afinidad hasta fin de siglo. Teóricamente, ésta podía ser usada para determinar la afinidad relativa de todas las sustancias, para ilustrar unas denominadas tablas de afinidad. Geoffroy confeccionó una tabla de seis columnas y ocho filas conteniendo 24 sustancias químicas, mostrando específicamente qué reacciones de afinidad ocurrirían entre varias combinaciones de reactivos (Thimms, 2007). Si, por ejemplo, un cuerpo E es desplazado de la combinación AE por D, D es desplazado por C y C por B, entonces D tiene una afinidad más fuerte que A y E, C tiene una mayor que D, y B tiene una más fuerte que C. Así, el orden de las “afinidades” sería ABCDE. Ese fue el principio bajo el cual Geoffroy construyó sus tablas. Sin embargo, la ley era cuestionable debido a que ciertas sustancias violaban sus predicciones (Adler, 1990).

En 1775, el químico sueco Torbern Olof Bergman (1735-1784) utilizó la tabla de afinidades y aportes de otros científicos como los esquemas de reacción de Cullen (el símbolo $\rightarrow$ y los brackets) y las sugerencias de clasificación de Lineo para escribir el primer texto sobre afinidades electivas, titulado *De attractionibus electivis* o disertación sobre las atracciones electivas (Imagen 2). La pieza central del libro de Bergman es una tabla de 50 columnas y 15 filas, mostrando miles de posibles reacciones químicas de forma esquemática entre varias entidades químicas, como por ejemplo, la famosa “doble afinidad electiva” donde dos unidades químicas AB, y CD, intercambian o desplazan sus parejas para formar dos nuevas sustancias AC y BD. De esta forma, Bergman fue el primer químico en emplear letras para representar entidades químicas tanto sencillas –A,B,C– como combinadas AB, AC, AD, etc, en lugar de la ambigua nomenclatura alquímica (Thimms, 2007).

Treinta y cuatro años después, la tabla de Bergman y las leyes de la afinidad se tornaron en el cimiento principal de la novela de Goethe. Un año antes de la publicación, Goethe le contaría en una carta su amigo Friedrich Wilhelm Rierner no sólo de su intención de retratar en su novela las relaciones sociales simbólicamente y de emplear los símbolos de Bergman, sino de reconocer que el título de la novela era tomado de dicho tratado.

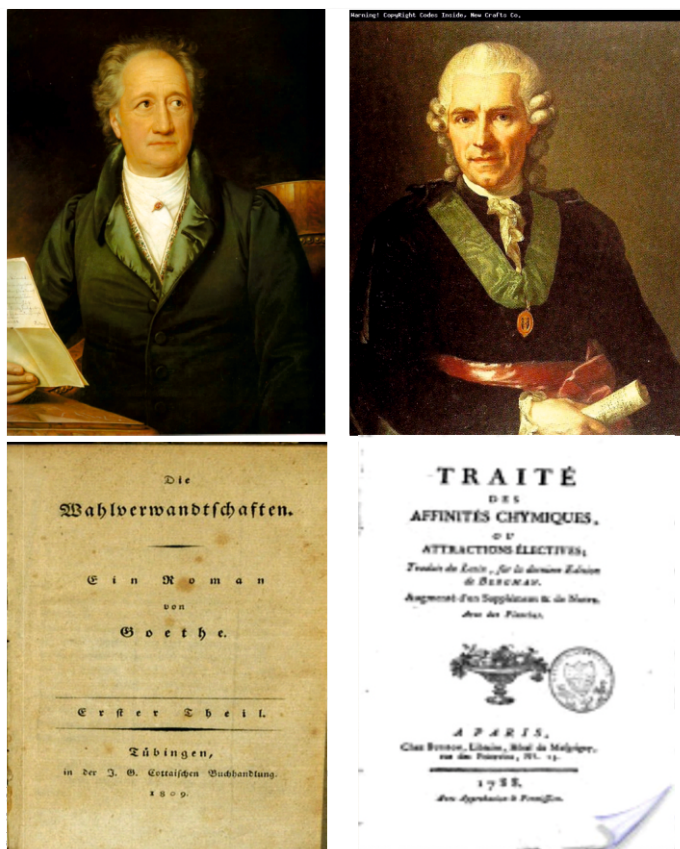


Imagen 2. El argumento que sustenta tanto el título de la novela como la metáfora de la reacción “humana” de intercambio de Las afinidades electivas de Goethe¹² (1749-1832) fue influenciado por los aportes de Theodore Bergman¹³ (1735-1784) (derecha) sobre la clasificación de las sustancias químicas a partir de su reactividad. Abajo, portadas de una primera edición de Las afinidades (1809) y una traducción al inglés de su Tratado de afinidades químicas o atracciones electivas (1785)¹⁴¹⁵¹⁶.

El análogo de las afinidades es el deseo, representado en la novela como una fuerza de atracción que supera incluso las barreras sociales y morales, y que puede dar lugar a impredecibles separaciones o reordenamientos cuando nuevos encuentros personales alteran el equilibrio existente (Durán, 2011a; Thimms, 2007). Sin embargo, cuando Goethe publica la novela en 1809, dicho concepto ya era discutido a partir de las nuevas perspectivas que se habían abierto en la química moderna o “peri”-Lavoisieriana (es decir, paralela a las aportaciones de Lavoisier e inmediatamente posterior), donde la idea de las afinidades electivas ya está bastante cuestionada por su incapacidad para explicar la formación y destrucción de compuestos, ya que científicos como Humphry Davy y Jöns Jacob Berzelius comenzaban a elaborar una teoría electroquímica que daba un nuevo enfoque a las reacciones entre sustancias

¹² Johann Wolfgang Goethe. Recuperado de [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0e/Goethe_\(Stieler_1828\).jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0e/Goethe_(Stieler_1828).jpg)

¹³ Torbern Bergman. Recuperado de <http://www.ne.se/neimage/194029.jpg>

¹⁴ Portada Traité des affinités chymiques ou attractions electives. Recuperado de <http://bit.ly/1xSOlpe>

¹⁵ Portada Traité des affinités chymiques ou attractions electives. Recuperado de <http://bit.ly/1xSOlpe>

¹⁶ Portada Traité des affinités chymiques ou attractions electives. Recuperado de <http://bit.ly/1xSOlpe>

para intentar explicar la electrólisis, constatando que las superficies cargadas eléctricamente, sea positiva o negativamente, alteran el equilibrio y pueden modificar incluso la afinidad electiva que tendrían determinadas sustancias. Más entrado el siglo XIX, aparecerían los trabajos sobre termodinámica química, que incluirán nuevos factores a las explicaciones sobre la afinidad entre sustancias, y a finales de siglo la química física introducirá modelos y obligará a hacer cálculos matemáticos para explicar las reacciones, vislumbrando cada vez más factores que influyen en las reacciones y aumentando la precisión cuantitativa de los conceptos. A finales de los años treinta del siglo XX, Linus Pauling publica *La naturaleza del enlace químico*, donde aplica la mecánica cuántica a la química, explicando cómo se combinan los átomos para formar moléculas estables, donde Pauling provee un nuevo marco explicativo en torno a por qué se forman unas determinadas moléculas y no otras (Durán, 2011a).

El episodio señalado permite plantear en el aula reflexiones teóricas valiosas tanto en torno al concepto de afinidad como de la evolución del modelo teórico del cambio químico. Por un lado, los aportes de Cullen y Bergman acuñaron una notación con letras para representar a las entidades químicas en una reacción que aún hoy en día sigue siendo empleada en libros de química y materiales de enseñanza como criterio para la clasificación de los cambios químicos (Imagen 3), basado en el tipo de reordenamiento de partículas implicado en la reacción -síntesis ($A+B \rightarrow AB$), descomposición ($AB \rightarrow A+B$), desplazamiento ($AB+C \rightarrow AC+B$) y doble desplazamiento ($AC+BD \rightarrow AB+CD$)- y otro de acuerdo al comportamiento químico (óxido-reducción, precipitación, ácido-base) (Stains y Talanquer, 2008). Por otra parte, esta analogía reacción-parejas sigue siendo recurrente como estrategia de enseñanza, la cual puede llegar a ser útil en el aula siempre y cuando se promueve la discusión de las correspondencias, los alcances y las limitaciones de la analogía.

► Reacción de sustitución simple o desplazamiento



► Reacción de doble sustitución o desplazamiento doble



15

Tipos de reacciones químicas

- **Síntesis:** $A + B \rightarrow C$ $2 H_2 + O_2 \rightarrow 2 H_2O$
- **Descomposición**
 - Simple: $A \rightarrow B + C$ $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$
 - Mediante reactivo: $AB + C \rightarrow AC + BC$ $2 ZnS + 3 O_2 \rightarrow 2 ZnO + 2 SO_2$
- **Sustitución** (desplazamiento): $AB + C \rightarrow AC + B$ $PbO + C \rightarrow CO + Pb$
- **Doble sustitución** (doble desplazamiento): $HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$
- $AB + CD \rightarrow AC + BD$

Imagen 3. Tanto la representación simbólica propuesta por Bergman y Cullen como la analogía empleada en las Afinidades Electivas, sigue siendo empleada actualmente en la enseñanza de los tipos de cambios químicos basados en tipo de reordenamiento atómico¹⁷

¹⁷ Tipos de reacciones químicas. Recuperado de http://images.slideplayer.es/2/319644/slides/slide_15.jpg
 Santana, I (2010): Tipos de reacciones químicas. Recuperado de <http://es.slideshare.net/iskramariana/reacciones-de-redox-oxidacin-reduccion>

1. Recursos para la aplicación de la Unidad Didáctica

Junto con los fragmentos de la novela señalados, de la cual es posible encontrar una versión en pdf en <http://bit.ly/1pEZfpt>, una versión doblada al castellano de la adaptación cinematográfica de 1996 de Paolo y Vittorio Taviani se encuentra disponible en internet en <http://bit.ly/11wZ2MV>, en la cual es posible rastrear los fragmentos aquí transcritos para brindar una mejor ambientación. Así mismo, la revista *Métode* publicó un monográfico dedicado a las Afinidades Electivas y la Revolución Química con reseñas de los químicos más influyentes del siglo XVIII y XIX, incluyendo los aquí mencionados, y un catálogo de textos históricos, disponible en <http://www.ihmc.uv-csic.es/quimica/index.html>. Una interesante revisión de la evolución de la nomenclatura química se encuentra disponible en <http://www.eoht.info/page/History+of+chemical+equations?t=anon>

2. Algunas preguntas orientadoras para el desarrollo de la UD:

¿Cómo piensas que era entendida la composición de la cal para la época? A qué “gas” consideras que se refiere en el fragmento?

Respuesta: El fragmento de la novela hace alusión a uno de los pasos del procedimiento propuesto por Joseph Priestley en 1767 para la obtención del dióxido de carbono $\text{CO}_{2(g)}$, denominado en ese entonces *aire fijo*, y que emplearía para su posterior método de carbonatación del agua. La reactividad química sigue siendo un valioso criterio para la identificación de las sustancias involucradas aún hoy empleado en diversos procedimientos de análisis químico cualitativo. A la luz del conocimiento actual sobre las sustancias y los cambios químicos, la reacción mencionada en el fragmento de la novela no involucra en rigor un doble desplazamiento, teniendo en cuenta que dada la inestabilidad del ácido carbónico, que a condiciones de temperatura y presión ambiente se descompone en agua y dióxido de carbono gaseosos, produciendo tres sustancias como productos.

¿Cómo representarías simbólicamente el proceso químico mencionado en las Afinidades electivas empleando las teorías químicas vigentes en ese momento y los conocimientos actuales sobre las sustancias y el cambio químico?

Respuesta: la tabla 2 sintetiza las representaciones mencionadas del cambio químico en cuestión:

<i>En el episodio:</i>	<i>“Si se introduce un fragmento de dicha piedra (cal) en ácido sulfúrico diluido, éste ataca la cal y aparece después unido a ella en forma de yeso, mientras que el ácido débil y gaseoso desaparece”</i>
<i>Actual</i>	Carbonato de calcio + Ácido Sulfúrico → Sulfato de calcio + Agua + Dióxido de Carbono
<i>Rep. Simbólica</i>	$\text{CaCO}_{3(s)} + \text{H}_2\text{SO}_{4(ac)} \rightarrow \text{CaSO}_{4(ac)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} + \text{CO}_{2(g)}$

Tabla 2: Representaciones del Cambio químico mencionado en Las Afinidades Electivas

¿Cómo desglosarías la analogía entre el intercambio de parejas y la reacción química planteada en el fragmento? ¿Qué representan cada uno de los personajes?

Una aproximación para el uso de analogías en el aula, entendida como la comparación entre un dominio abstracto y uno concreto, para ilustrar un determinado fenómeno, sistema natural, supone la comparación entre el objetivo y el análogo, que puede ser desglosada (figura 6) explicitando las correspondencias, las utilidades y las limitaciones de dicha analogía con respecto a la idea que busca ilustrar.

Objetivo	Análogo
Cambio químico de doble desplazamiento	Fragmento de Edouard
Correspondencias de la analogía	
Cal Ácido sulfúrico Ácido débil (gas) Yeso Afinidad Reacción química	Edouard - Charlotte Otilie - El Capitán Edouard - Otilie Charlotte- El Capitán Atracción Intercambio de parejas
Utilidades, alcances de la analogía	
Cada personaje puede representar una entidad química	
Limitaciones de la analogía	
- Sólo permite representar reacciones químicas de doble desplazamiento. - La reacción produce más de dos nuevas sustancias, debido a que el ácido carbónico es inestable y se descompone en agua y dióxido de carbono - No permite representar sustancias formadas en diferentes estados de agregación - Cautelar el carácter antropomórfico que se le pueda conferir a las entidades químicas	

Tabla 3: desglose de la analogía Intercambio de parejas –reacción de desplazamiento empleada en Las Afinidades Electivas

1. “¡Está Vivo! ¡Está vivo!”: Reviviendo a Frankenstein en el aula de ciencias

Escrita por Mary Shelley durante 1818 en Londres a sus escasos 18 años, *Frankenstein o el Moderno Prometeo* ha sido considerada por algunos autores la primera novela del denominado género de ciencia ficción, así como una de las más importantes novelas de terror gótico (Ellis, 1999; Novell, 2008; Rose, 2003). Si bien su innovación no yace en la fabricación de una criatura artificial, sino en los medios por los que el científico la crea, pues al incorporar el uso de la ciencia —inexacta e imposible, pero no sobrenatural—, Shelley se aleja de los medios más característicos del género gótico —los fantasmas, los espíritus, la mera imaginación o la proyección psicológica— y crea un monstruo nacido de los avances científicos de su época y la Revolución Industrial, generando una sensación de optimismo ante las ilimitadas posibilidades del ser humano en el desarrollo científico (Cerdá, 2012).

La historia comienza en las heladas aguas del Polo, donde Robert Walton, un explorador del Polo Norte en busca de rutas a Pacífico sin tener que rodear la tierra, se encuentra con Víctor Frankenstein, el protagonista de la novela, quien fuese un estudiante de filosofía natural, química y anatomía en la Universidad de Ingolstadt en Bavaria. Víctor le cuenta cómo su obsesión por alcanzar un objetivo durante largos años se trocó al fin en su autodestrucción. Había conseguido, tras muchos esfuerzos y trabajos, dotar de vida a un ser inerte, convirtiéndose así en una especie de dios creador de lo que él esperaba fuese una nueva generación de hombres felices. Sin embargo, su creación le parece horrenda una vez finalizada y abandona a la criatura a su suerte, sumido en una enfermedad depresiva provocada por el remordimiento y el horror ante

lo que había osado hacer. La criatura se ve abocada al desprecio por parte de los demás seres humanos, dado que su espantoso físico aleja cualquier posibilidad de acercamiento, y ante la más absoluta soledad y crueldad de los hombres decide vengarse de toda la especie y, en particular, de su creador, destruyendo la vida de los seres más queridos de Frankenstein. Víctor consagra el resto de su vida a la destrucción de la criatura, a quien persigue hasta el Polo Norte, donde, ante los admirados ojos de Robert Walton, perderá la vida. El monstruo, desesperado ante la muerte de su creador, desaparece en el mar, después de haber explicado al navegante su intención de dejarse morir.

2. Imágenes de Ciencia y Científico en la Novela

Los episodios para las “historias de la ciencia” emanados de Frankenstein pueden ser explotados desde diversas aristas en el aula. En primer lugar, la revisión de apartes de la novela, particularmente del segundo y tercer capítulo, nos brindan pistas sobre la personalidad de Víctor, sus percepciones sobre el quehacer científico propensas de ser analizadas bajo nuestra “mirada teórica” anclada en NOS, para elicitación imágenes de ciencia y científico identificadas por la investigación en didáctica de las ciencias.

Los primeros fragmentos valiosos para el análisis emergen cuando Víctor Frankenstein, a sus diecisiete años, se incorpora a la Universidad de Ingolstadt para estudiar filosofía natural. La materia de estudio está completamente dominada por la química moderna de finales del Siglo XVIII, posterior a Lavoisier, y se sorprende al conocer únicamente profesores de dicho corte, hasta conocer a Waldman, quien le hace revivir su pasión por la alquimia (Schummer, 2007) (el subrayado es nuestro)

“Empezó su conferencia con una recapitulación de la historia de la química y los progresos realizados por los diferentes hombres de ciencia, pronunciando con fervor los nombres de los más distinguidos descubridores. (...)Tras hacer algunos experimentos preparatorios, concluyó con un panegírico de la moderna química, con palabras que nunca olvidaré: Los antiguos profesores de esta ciencia —dijo—, prometieron imposibles y no lograron nada. Los modernos maestros prometen muy poco; saben que no pueden transmutarse los metales, y que el elixir de la vida es una quimera.(...) Penetran en las reconditeces de la naturaleza y muestran cómo actúa ésta en lo más oculto. Ascienden a los cielos; han descubierto la circulación de la sangre y la naturaleza del aire que respiramos. Han alcanzado nuevos y casi ilimitados poderes (...) Estos son hombres a cuyo celo infatigable deben los modernos filósofos la mayor parte de los fundamentos de su saber. (...) Los esfuerzos de los hombres de genio, aunque erróneamente orientados, difícilmente dejan de convertirse, en última instancia, en positiva ventaja para la humanidad”.

El análisis de este fragmento puede dar cuenta de la influencia del conocimiento científico de la época en la obra de Shelley. Mientras trabajaba arduamente en la escritura de Frankenstein, Mary Shelley escribió en su diario que estaba leyendo "Química" de Sir Humphry Davy (1778-1829), químico británico reconocido por utilizar la electricidad como un nuevo medio de estudio de la materia, que fundamentaba sus estudios en la hipótesis de que las transformaciones químicas y eléctricas eran producidos por la misma causa: la fuerza resultante de la atracción y

repulsión entre cargas eléctricas. Mediante la aplicación de corriente eléctrica a mezclas de sustancias compuestas, Davy descompuso en 1807 dos sustancias compuestas, la potasa y la sosa. Estos experimentos condujeron al descubrimiento de potasio y el sodio, metales que todavía no habían sido aislados, y otros cuatro metales posteriormente (Marinho, 2000). Además de su valioso aporte en el estudio de la química, se caracterizaba por su elocuente y apasionado tono en sus conferencias en la Royal Society. Una obra que aparece en su lista de "libros leídos en 1816" como la "Introducción a la Química de Davy" (Fara, 2008). Aunque no hay claridad respecto a cuál fue la obra de Davy empleada, una conjetura apunta a que fue su "Discurso de Introducción a un curso de conferencias sobre Química", tomado de una conferencia presentada por él en la Royal Institution en enero de 1802 (Imagen 4). El discurso en la clase magistral de Waldman refleja las ideas científicas presentadas en la novela, el optimismo científico que forma el carácter del joven Frankenstein que lo lleva finalmente a emprender a cabo su macabro proyecto (Crouch, 1978).

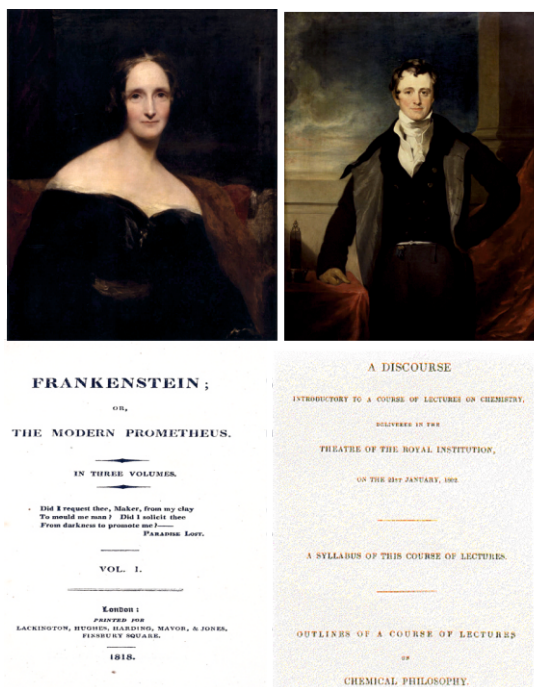


Imagen 4. La primera y más famosa novela de Mary Shelley fue influenciada, entre otros, por las ideas sobre electroquímica en los tratados de Humphry Davy, El elocuente y romántico discurso que haría tan célebres sus conferencias en la Royal Society, se vislumbra en la novela en las apreciaciones de Victor y Waldman sobre la ciencia, el quehacer científico y la química¹⁸.

Tanto el siguiente fragmento, como la lectura de Waldman previamente señalada, permite entrever una visión individualista de la ciencia, donde los conocimientos científicos aparecen como obra de hombres, genios aislados, desconociéndose el papel del trabajo colectivo, de los intercambios entre equipos. Por otro lado, la visión "velada" o elitista presenta el trabajo científico como un dominio reservado a minorías especialmente dotadas y marcadamente androcéntricas (Fernández, et. al, 2005).

¹⁸ Mary Shelley. Recuperado de <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/65/RothwellMaryShelley.jpg>

“Cuanto más me adentraba en la ciencia más se convertía en un fin en sí misma. Esa entrega, que en un principio había sido fruto del deber y la voluntad, se fue haciendo tan imperiosa y exigente que con frecuencia los albores del día me encontraban trabajando aún en mi laboratorio. No es de extrañar; pues, que progresara con rapidez. (...) pues estaba entregado de lleno al estudio de los descubrimientos que esperaba hacer. (...) En otros terrenos, se puede avanzar hasta donde han llegado otros antes, y no pasar de ahí; pero en la investigación científica siempre hay materia por descubrir y de la cual asombrarse.”

Por otro lado, una visión Empiro-inductivista de la ciencia defiende el papel de la observación y de la experimentación “neutras” (no contaminadas por ideas apriorísticas), olvidando el papel esencial de las hipótesis como focalizadoras de la investigación y de los cuerpos coherentes de conocimientos (teorías) disponibles, que orientan todo el proceso. Estas pueden quedar manifiestas en apartados como los siguientes.

“Me detuve a examinar y analizar todas las minucias que componen el origen, demostradas en la transformación de lo vivo en lo muerto y de lo muerto en lo vivo. De pronto, una luz surgió de entre estas tinieblas; una luz tan brillante y asombrosa, y a la vez tan sencilla, que, si bien me cegaba con las perspectivas que abría, me sorprendió que fuera yo, de entre todos los genios que habían dedicado sus esfuerzos a la misma ciencia, el destinado a descubrir tan extraordinario secreto.”

“Los materiales con los que de momento contaba apenas si parecían adecuados para empresa tan difícil, pero tenía la certeza de un éxito final. Me preparé para múltiples contratiempos; mis tentativas podrían frustrarse, y mi labor resultar finalmente imperfecta. Sin embargo, me animaba cuando consideraba los progresos que día a día se llevan a cabo en las ciencias y la mecánica; pensando que mis experimentos al menos servirían de base para futuros.”

“Me fui contento con el profesor y su conferencia, y lo visité esa misma tarde. (...) Dijo que «a la entrega infatigable de estos hombres debían los filósofos modernos los cientos de su sabiduría. Nos habían legado, como tarea más fácil, el dar nuevos nombres y clasificar adecuadamente los datos que en gran medida ellos habían sacado a la luz. El trabajo de los genios, por muy desorientados que estén, siempre suele revertir a la larga en sólidas ventajas para la humanidad».

Por otra parte, al analizar con detenimiento al protagonista de la novela, Victor Frankenstein se configura como uno de los personajes de ficción representativos del estereotipo del “científico loco”, una imagen de científico largamente difundida y aún arraigada cuyo origen se remonta al “alquimista loco” emanado de las sátiras elaboradas en torno a la figura del alquimista durante el siglo XIV, y caracterizado por entregar un perfil de una persona obsesionada con la riqueza y la idea de la transmutación del oro, quién enfoca absolutamente todos sus esfuerzos en dicha empresa gastando todas sus riquezas, arruinando su salud y familia, dañando su reputación hasta terminar en la ruina. (Schummer, 2007).

La vasta cantidad de adaptaciones cinematográficas de Frankenstein (¡más de 60 versiones a la fecha!), cada una con un amplio margen de fidelidad y tratamiento

Edición de 1818 de Frankenstein o el moderno Prometeo.

http://1.bp.blogspot.com/_XRKPDbv8aRU/TOgFuB1NKUI/AAAAAAAAAFY/9sc1jHrdQnc/s1600/titlepage_large.jpg Humphry Davy. Recuperado de

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bd/Sir_Humphry_Davy,_Bt_by_Sir_Thomas_Lawrence.jpg

Portada de Humphry Davy's A Discourse. Recuperado de <http://knarf.english.upenn.edu/Gifs/davy2307.gif>

con respecto a la historia original, pone de manifiesto la visión de diferentes directores no solo sobre la obra en sí, sino sobre la forma de representar a Victor Frankenstein, a la criatura creada por él, e incluso al laboratorio donde engendró a su criatura (Ruiz, 2012). Estas representaciones de científicos, su quehacer y lugar de trabajo de la cual incluimos algunos ejemplos (ver Anexo 1), pueden ser empleadas por los profesores en formación no sólo para recolectar imágenes de otras versiones, sino para ser analizadas en detalle a partir de los criterios propuestos por Adúriz-Bravo, Iturralde, (2013), para identificar la imagen de científico subyacente (Tabla 4).

	IMAGEN ESTEREOTIPADA	IMAGEN DESEABLE
SEXO	Hombre	Mujeres, o mujeres y hombres
EDAD	Adulto Mayor	Entre 30 y 50 años
ETNIA	Blanco	Diferentes etnias
CABELLO Y PELO FACIAL	Calvo o con cabello parado. Patillas, barba.	Cabello normal, sin pelo facial
LENTES	Bata blanca.	Sin lentes
VESTIMENTA	Despistada, diabólica.	Vestimenta acorde al lugar y tipo de trabajo
RASGOS DE PERSONALIDAD	Benefactor dela humanidad. Causante de grandes desastres.	Concentrada o despistada, normal Con buen o mal carácter, normal.
DIMENSIÓN ÉTICA	En solitario. Actividad <u>individual</u> . independiente	“Humano”
FORMA DE TRABAJO	Relación de dependencia	Integrando equipo de trabajo. Perteneciente a la comunidad científica
ASPECTO VINCULANTE	Biología, Química, Medicina	Colaboración Complementariedad
CAMPO DE INVESTIGACIÓN	Laboratorio	Otras áreas del conocimiento
LUGAR DE TRABAJO	Sigue pasos rígidos del método científico	Espacios ajenos al laboratorio, tanto diferentes escenarios de trabajo de campo, como ámbitos de reunión y discusión, o de investigación como bibliotecas
METODOLOGÍA	Observación Experimentación Descubrimiento	Variadas metodologías
ACTIVIDAD CENTRAL	Equipamiento propio de la química y la biología	Modelización. Argumentación
INSTRUMENTOS Y MATERIALES		Computadoras. Instrumental acorde a la temática.
Su imagen de científico es predominantemente _____ ¿En qué aspectos es marcadamente estereotipada?		

Tabla 4: Matriz de análisis de imágenes de científico (Adúriz-bravo, Iturralde, 2013)

Un análisis preliminar de tales imágenes como las recolectadas en el anexo bajo los criterios propuestos, ponen de manifiesto diversos aspectos de la imagen estereotipada previamente señalada: Victor Frankenstein suele ser representado como un hombre de aspecto desaliñado, barbudo, provisto de bata blanca, que trabaja compulsivamente y en solitario en un laboratorio completamente aislado, sin contacto alguno con el exterior, rodeado de materiales e instrumentos sofisticados. En algunas versiones, se le muestra acompañado de un ayudante.

1. Electricidad y otras Ideas científicas en Frankenstein

Otra posibilidad de la propuesta para potenciar la discusión en clase en torno a este episodio refiere a las ideas científicas de la época presentes en la novela, particularmente el descubrimiento hecho por Victor Frankenstein con el cual logra darle vida a su engendro. Esto se hace manifiesto al resaltar que el relato no ahonda en descripciones detalladas del mecanismo mediante el cual Victor logró darle vida a su criatura. De hecho, tanto las diferentes adaptaciones cinematográficas como las demás variantes de la historia parecen consensuar ingenuamente en representar dicho mecanismo mediante la electrocución de un cuerpo inerte. Los siguientes fragmentos pueden dar cuenta del influjo que la electricidad ejercía en Victor:

“La catástrofe de este árbol avivó mi curiosidad, y con enorme interés le pregunté a mi padre acerca del origen y naturaleza de los truenos y los relámpagos. Es la electricidad me contestó, a la vez que me describía los diversos efectos de esa energía. Construyó una pequeña máquina eléctrica y realizó algunos experimentos. También hizo una cometa con cable y cuerda, que arrancaba de las nubes ese fluido”.

“Tras noches y días de increíble labor y fatiga, conseguí descubrir el origen de la generación y la vida; es más, yo mismo estaba capacitado para infundir vida en la materia inerte.”

“Una desapacible noche de noviembre contemplé el final de mis esfuerzos. Con una ansiedad rayana en la agonía, coloqué a mi alrededor los instrumentos que me iban a permitir infundir un hálito de vida a la cosa inerte que yacía a mis pies. Era ya la una de la madrugada; la lluvia golpeaba las ventanas sombríamente, y la vela casi se había consumido, cuando, a la mortecina luz de la llama, vi cómo la criatura abría sus ojos amarillentos y apagados. Respiró profundamente y un movimiento convulsivo sacudió su cuerpo.”

El impacto que los fenómenos eléctricos habían causado no sólo en el mundo científico en el siglo XVIII no excluyó a Mary Shelley, y de hecho la influenció notoriamente. Su mismo marido, Percy Bysshe Shelley, tenía gran curiosidad por los experimentos de Luigi A. Galvani (1737-1798) acerca de descargas eléctricas sobre ranas muertas que provocaban contracciones en sus músculos, interés despertado desde sus estudios en el Eton College (Imagen 5). Incluso llegó a realizar por su cuenta algunos experimentos de este tipo (Maurois, 1964; Piccolino, 1998). Y en este interés, casi por los fenómenos eléctricos, las famosas conferencias de Davy con gran seguridad tuvieron mucho que ver (Thoman, 1998). Aunque tanto Mary como Percy no las hubieran podido presenciar personalmente por su corta edad, esas conferencias y las demostraciones prácticas sobre descargas eléctricas que las acompañaban, habrían producido su efecto sobre mentes tan sensibles e imaginativas, y la idea de la electricidad como una especie de fuerza vital bien podría haber constituido el germen de la idea de Mary de infundir vida en un cuerpo inanimado, aunque finalmente lo que se consiguiera crear fuera un monstruo. (Santos y Perales, 2005).

1. Algunas preguntas orientadoras para el desarrollo de la UD:

¿Qué otras imágenes de Frankenstein emanadas de los videojuegos, películas, series animadas, películas de tv conoces?



Imagen 5. Paralelos entre experimentos de Galvani y el mecanismo que da vida a Frankenstein (Superior) La versión de Branagh de 1994 de Frankenstein, si bien enfatiza en la electricidad como la responsable de darle vida a la criatura, plantea un mecanismo que hace alusiones explícitas a los experimentos de Galvani (superior izquierda), con la aparición de pilas voltaicas en los laboratorios de Waldman y Frankenstein. (Inferior) Para la época, el suministro de corriente producía efectos macabros similares a la “resurrección” de cadáveres de personas (Inferior izquierda)^{19,20}.

¿Qué características consideras que tienen en común las personificaciones de Victor Frankenstein de las versiones cinematográficas?

¿Cómo explicarías que en Frankenstein se consideraba posible revivir un ser vivo suministrándole una fuerte descarga de energía eléctrica?

¿Cuáles consideras que son las ideas científicas expuestas en la novela, a al contrastarlas con los conocimientos científicos actuales?

¹⁹ BRANAGH, K. (director) (1994). Mary Shelley's Frankenstein. Estados Unidos. TriStar pictures. Fotogramas elaboradas por los autores del presente artículo.

²⁰ GALVANI, L. De Viribus Electricitatis. Recuperado de

http://galvanisfrog.com/Pictures/galvanisapparatus_thumb.jpg

ROBINSON, H. (1850). A Galvanized Corpse. Recuperado de <http://www.loc.gov/pictures/item/2008661296/>

PICCOLINO, M. (1998) Animal electricity and the birth of electrophysiology: The legacy of Luigi Galvani. Brain Research Bulletin, Vol. 46, No. 5, pp. 381–407, 1998

Galvanización de cadáveres DE Andrew Ure (1813). Recuperado de

<http://exhibitions.nypl.org/biblion/outsiderecreation-remix/image/0-nypl-795>

2. Retroalimentación

Es posible afirmar que el concepto de reanimación de Shelley se basa en diversas ideas y prácticas científicas de la época. La más importante es la creencia en la generación espontánea, lo que significa que la vida podía surgir espontáneamente de animales muertos o materia vegetal. Otra inspiración puede haber sido la teoría de la epigénesis, que argumentaba que el proceso de una sola célula convirtiéndose en un complejo de adultos multicelulares es controlado por una fuerza vital única al tejido vivo. Además, durante el tiempo de Shelley había una considerable experimentación la relación entre la electricidad y la vida, sobre todo el papel de la electricidad en la estimulación la contracción muscular. La electricidad utilizada para estos experimentos fue generada por el galvanismo, es decir, reacciones químicas que implican metales con diferentes afinidades para los electrones.

Al contrastar tales ideas con el conocimiento científico vigente, es posible inferir que Shelley confiaba en una fuerza vital que no existe, que la electricidad se produce en el tejido vivo pero no puede impartir nueva vida a los tejidos muertos, y que con excepción de los animales crioprotectores, el cese de los latidos del corazón y la respiración en un ser vivo, resulta en una muerte celular generalizada y en la generación de procesos de descomposición química, pues se trata de procesos irreversibles que representan un obstáculo absoluto e insuperable a esta forma de reanimación (Rose, 2003).

3. Recursos para la aplicación de la Unidad Didáctica

En internet se encuentran disponibles varios recursos para la implementación de los episodios de Frankenstein en el aula. Dos bases de datos sobre las abundantes adaptaciones cinematográficas pueden consultarse en <http://www.frankensteinfilms.com> y <http://public.wsu.edu/~delahoyd/frankenstein.films.html>. Una versión del libro en formato pdf puede descargarse en <http://bit.ly/ZxSs8c>, y la versión cinematográfica de 1994 doblada al castellano puede ser vista online a través de <http://bit.ly/195ob67>. Así mismo, el canal History Channel produjo un capítulo de su serie “Descifrando el pasado” dedicado a Frankenstein, disponible en <http://bit.ly/15H2Lrq>,

4. Comentarios Finales

Los dos casos empleados evidencian diferentes aristas a partir de las cuales partir para el diseño de unidades Didácticas centradas en NOS. Las “historias de la ciencia” de estos dos casos mencionados cobran sentido a la hora de analizar no solo las escenas, descripciones, escenas y personajes de las novelas en las que puede subyacer varias ideas científicas, sino al poner en relieve el contexto y acontecimientos científicos de la época que influyeron en los escritores como recurso para la gestación de estas historias, y nos permite hilvanar ciertos paralelos entre las ideas de los textos y las ideas científicas predominantes durante el periodo Romántico. En la propuesta de esta comunicación, la historia de la ciencia, por un lado, asume en la construcción de la

NOS a enseñar un rol ligeramente diferente del que le otorgan otros autores (cf. Irwin, 2000; Stinner et al., 2003; Quintanilla, 2007).

Unas síntesis de los recursos, las ideas científicas, ideas NOS y las posibles actividades de enseñanza basadas en las dos “historias” de la ciencia aquí recogidas se especifican en la Tabla 5, las cuales buscan acercar al profesorado de ciencias en formación hacia una imagen de ciencia y científico entendida como una actividad humana alejada de visiones deformadas, de carácter tentativo y transitorio, permeada por la creatividad, el error, el azar, que considera el contexto social, político, valórico y cultural a partir de los cuales se desarrollaron dichos conocimientos científicos (Kragh, 1997), y sus relaciones con otras disciplinas, como en este caso la literatura romántica.

Episodio	Insumos	Ideas Disciplinarias	Ideas NOS	Actividades de enseñanza
<i>Las Afinidades Electivas</i>	Fragmentos novela Escenas Película	Modelo teórico cambio químico Afinidad química	Ciencia como actividad humana: Influencia de las ideas sobre afinidad de Torbern Bergman en la novela. Analogía reacción química doble desplazamiento-relaciones de pareja	Lectura, análisis y discusión fragmentos Proyección no lineal y discusión escenas Discusión y desglose de la analogía Contrastación de representaciones simbólicas de cambios químicos con conocimientos vigentes
<i>Frankenstein o el Moderno Prometeo</i>	Fragmentos novela Escenas Película Collage de imágenes (Anexo I)	Galvanismo Generación espontánea Epigénesis Vitalismo	Ciencia como actividad humana: Influencia de las ideas de Humphry Davy en la novela Imágenes de ciencia y científico en la novela.	Lectura, análisis y discusión fragmentos Construcción banco de imágenes de Victor Frankenstein Contrastación de ideas científicas con los conocimientos vigentes Identificación de la imagen de científico

Tabla 5. Síntesis de la propuesta de Unidad didáctica basada en las dos “historias” aquí analizadas.

En este sentido, se presta menos atención a la disciplina metacientífica erudita y se pone más el foco en capturar de ella episodios o elementos que, al ser incluidos en las historias de la ciencia, darán sentido “profundamente humano” a la reflexión NOS. Por otro lado, se explora, de manera muy preliminar aún, el uso de la literatura clásica como insumo de los episodios o elementos que se usan en las historias de la ciencia, poniendo a prueba el potencial interdisciplinario de la NOS.

Agradecimiento

Este capítulo sigue las orientaciones teóricas y metodológicas del **Proyecto COLCIENCIAS-CONICYT Folio: PCCI130073** y del **Proyecto de Movilidad Académica DRI-UC 024/14** que dirige el Dr. Mario Quintanilla Gatica.

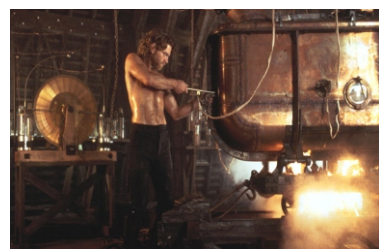
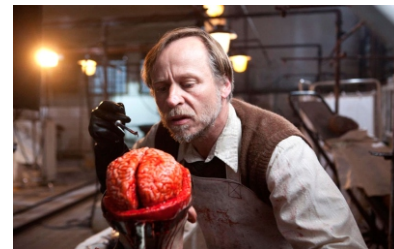
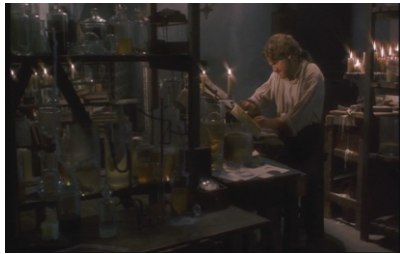
Lista de referencias bibliográficas

- ADLER, J. (1990). Goethe's Use of Chemical Theory in his Elective Affinities (cap. 18, pgs. 263-79) en Cunningham, A. y Jardine, N (editores): *Romanticism and the Sciences*. New York. Cambridge University Press.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. (2011). 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. (2011). Diseño, implementación y evaluación de “historias de la ciencia” para la profesionalización del profesorado de ciencias. Minicurso dictado en el *I Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias y la Matemática y II Encuentro Nacional de Enseñanza de la Matemática*. Tandil, Argentina.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. DIBARBOURE, M. E ITHURRALDE, S. (coords) (2013): El quehacer del científico al aula. Pistas para pensar. Uruguay.Fondo Editorial Queduca. FUM-TEP.
- BALL, P. (2008). Literary reactions. *Chemistry World*, diciembre, pp. 46-49.
- CHAMIZO, J. (2011): Introducción a la Historia Experimental de la Química. Editorial Siglo XXI.
- CLUSKEY, J. (1951). Goethe and chemistry. *Journal of Chemical Education*, 2 (10), 536.
- CROUCH, L. (1978) Davy's *A Discourse, Introductory to A Course of Lectures on Chemistry*: A Possible Scientific Source of *Frankenstein Keats-Shelley Journal*, 27, pp. 35-44.
- DURÀN, X. (2011a). Goethe y la afinidad entre química y literatura: Moléculas y divorcios en una novela romántica. *Mètode*, 69.
- DURÀN, X. (2011b). Química y literatura: Goethe y las afinidades electivas. En: <http://barcelonacultura.bcn.cat/es/quimica-y-literatura-goethe> (consultado en diciembre de 2013).
- ELLIS, M. (1999): Fictions of Science in Mary Shelley's *Frankenstein*. Sydney Studies in English. Número 25.
- ESTANY, A. IZQUIERDO, M (1990): La evolución del concepto de afinidad analizada desde el modelo de s. Toulmin. *Ilull*, vol. 13, 1990, 349-378
- ESTEBAN, S. Y PERAL, F (2005): La Química y el Movimiento Romántico. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*. Segunda Época, Julio-Septiembre. pp. 54-61.

- FARA, P (2008): Educating Mary: Women and Scientific Literature in the early Nineteenth Century. En KNELLWOLF, C. & GOODAL, C. (2008): *Frankenstein's Science: Experimentation and Discovery in Romantic Culture, 1780-1830*. Aldershot: Ashgate, 2008. 225 pp.
- FERNÁNDEZ, I. GIL, D., VALDÉS, P. Y VILCHES, A. (2005): ¿Qué visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos? (Capítulo 2). En *¿Cómo Promover el interés por la Cultura Científica. Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*. Unesco. Andros Impresores. Santiago.
- GEHRT, A. (1934): Goethe the chemist. *Journal of Chemical Education*, 11 (10), p 543.
- IRWIN, A. (2000). Historical case studies: Teaching the nature of science in context. *Science Education*, 84(1), 5-26.
- IZQUIERDO-AYMERICH, M. y ALIBERAS, J., con la colaboración de ADÚRIZ-BRAVO, A. (2004). *Pensar, actuar i parlar a la classe de ciències*. Bellaterra: UAB.
- GINN, S. Mary Shelley's *Frankenstein*: Science, Science Fiction, or Autobiography?
- GOULDING, C. (2002): The real Doctor Frankenstein? *Journal of the Royal Society of Medicine*. 95 (5). pp 257–259.
- KIM, M. (2003): *Affinity, That Elusive Dream: A Genealogy of the Chemical Revolution*. Cambridge, MIT Press, 2003. 599 pp.
- KRAGH, H. (1989). *Introducción a la historia de la ciencia*. Barcelona: Crítica.
- MARINHO, M. (2000): A eletricidade e a química. *Química Nova Na Escola*. N° 12. Noviembre. pp 34-37
- McCOMAS, W. (ed.) (1998). *The nature of science in science education: Rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer.
- NOVELL, N. (2008): *Literatura y Cine de Ciencia Ficción: Perspectivas Teóricas*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona
- QUINTANILLA, M. (2007). *Historia de la ciencia: Aportes para la formación del profesorado*. Santiago de Chile: Arrayán.
- ROSE, C. (2003): How to teach biology using the movie science of cloning people, resurrecting the dead, and combining flies and humans. *Public Understand of Science*. 12. pp. 289–296.
- RUIZ, B. (2012) *Imágenes del científico y de la ciencia. El caso de Frankenstein*. Memorias IV Coloquio Universitario de Análisis Cinematográfico.
- SCHUMMER, J. (2006): Historical Roots of the “Mad Scientist”: Chemists in Nineteenth-century Literature. *AMBIX*, Vol. 53, No. 2, Julio. pp. 99–127.
- STAINS, M. Y TALANQUER, V. (2008): Classification of Chemical Reactions: Stages of Expertise *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 45 (7). pp. 771–793.
- STINNER, A., McMILLAN, B., METZ, D., JILEK, J. y KLASSEN, S. (2003). The renewal of case studies in science education. *Science & Education*, 12(7), 617–643.
- THIMS, L. (2007). *Human Chemistry*. Lulu Enterprises. E.E.U.U.
- THOMAN, C. (1998) Sir Humphry Davy and Frankenstein. *Journal of Chemical Education*, Vol. 75 No. 4 April. pp. 495–496

ANEXO

Collage de adaptaciones cinematográficas de Frankenstein para análisis de imagen de ciencia y científico²¹



BROOKS, M. (director) (1974): Young Frankenstein. Fotograma Recuperado de <http://www.dvdclassik.com/upload/images/galleries/film-frankenstein-junior5.jpeg>

FISHER, T (1957): The Curse of Frankenstein. Fotograma recuperado de http://cdn2b.examiner.com/sites/default/files/styles/image_content_width/hash/d0/8c/d08c4e510b596064de9178f2ed5979fc.jpg?itok=jI6l9Wav

RAAPHORST, R. (2013): Frankenstein's army. Fotograma recuperado de <http://www.sinfulcelluloid.com/2013/07/awesome-new-frankensteins-army-pics-give-you-a-peek-inside-the-madness/alive>

WHALE, J. (1931) (Director) Doctor Frankenstein. Fotograma recuperado de http://www.imdb.com/media/rm2764033024/tt0021884?ref_=tt_pv_md_4

Capítulo 9

*Un análisis de la estructura de dos experimentos asociados a la combustión: algunas implicaciones para la formación inicial docente en ciencias naturales*²²

Henry Giovany Cabrera Castillo.²³

Universidad del Valle

Colombia

Mario Quintanilla.

Pontificia Universidad Católica de Chile

Chile

Índice

Resumen

1. Introducción.

- 2. Un análisis histórico crítico: la perspectiva de Andrew Pickering.*
- 3. El caso de la experimentación asociada a la combustión de los metales.*
- 4. Memoria sobre la calcinación del estaño en vaso cerrado y sobre la causa del aumento del peso que este metal experimenta durante la operación.*
- 5. Memorias sobre la naturaleza del principio que se combina con los metales durante la calcinación y que causa el aumento de su peso.*
- 6. Implicaciones para la formación inicial de docentes de ciencias naturales.*

Lista de referencias bibliográficas.

Resumen

La problemática de la fragmentación entre la conceptualización y la experimentación en ciencias, especialmente en química, a la cual están expuestos los docentes en formación inicial en ciencias naturales, es fomentada por la separación tradicional de las clases de química y sus correspondientes laboratorios en las universidades. Si acudiéramos a la historia de la química podríamos identificar que ellas han estado en un constante solapamiento. Sin embargo, tanto la historia, la filosofía como la misma enseñanza de las ciencias se han encargado de hacer un énfasis en la teoría, hasta el punto de catalogarla como la única responsable de generar conocimiento científico (químico), como consecuencia, la experimentación ha quedado confinada a un papel secundario, asumida como la demostración de los aspectos conceptuales.

²² Este capítulo está basado en la ponencia presentada en la *III International History, Philosophy and Science Teaching Group Latinoamerican Conference* realizada en Santiago de Chile, Chile, noviembre de 2014.

²³ Este capítulo corresponde a un indicador de productividad y transferencia de la pasantía que este autor está realizando bajo la asesoría del profesor Mario Quintanilla.

En este sentido, la manera como es abordada la enseñanza de la química conlleva a 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 desarrollo histórico de la combustión y seleccionaremos para realizar su análisis histórico crítico de dos de los experimentos que realizó Antoine Lavoisier en el año 1775. Finalmente, proponemos algunas implicaciones que podrían tenerse en cuenta en la formación inicial de docentes con la finalidad de valorar el análisis de textos y experimentos históricos como recursos que permitan identificar y orientar preguntas esenciales que favorezcan la adquisición de conocimiento químico.

1. Introducción

En los últimos 30 años en el campo de la enseñanza de las ciencias hemos identificado un sin número de investigaciones direccionadas hacia la búsqueda de aportes provenientes de la historia y filosofía de las ciencias (HFCs), fue así como aparecieron trabajos interesados en la selección de contenido, la elaboración de instrumentos, experimentos, materiales para la enseñanza (unidades didácticas, libros de texto), el análisis de textos, la inclusión dentro de los programas curriculares temáticas o asignaturas basadas en la HFCs y la formación de docentes (Coelho & Praia, 1998; Cuellar, Quintanilla, & Marzábal, 2010; Matthews, 1994, 2009; Niaz, 2002, 2011; Quintanilla, Saffer, Izquierdo, & Adúriz-Bravo, 2007). En lo que se refiere a la formación de docentes en ciencias naturales, pueden identificarse investigaciones sobre el uso, inclusión y desarrollo de actividades desde la HFCs para la formación inicial (Amador, Gallego, & Pérez, 2008; Izquierdo, Quintanilla, Vallverdú, & Merino, 2007; Membiola & Vidal, 2005) y la formación en ejercicio (Cuéllar, Quintanilla, & Camacho, 2008; Quintanilla, Izquierdo, & Adúriz-Bravo, 2005; Quintanilla, 2007).

Si nos detenemos en los docentes en formación inicial en ciencias naturales, también podríamos mencionar que algunos resultados de investigaciones indican que el proceso académico por el cual transitaron estuvo centrado en el “dominio” de la conceptualización (conceptos, modelos explicativos, teorías). Se prioriza por la solución de ejercicios de lápiz y papel y se acude a los laboratorios solo para realizar experimentos para demostrar los modelos explicativos, las formulas y las ecuaciones vistas en las clases (Cortés & De la Gándara, 2006; Gil et al., 1999; Insausti, 1997). Esto significa que el panorama académico universitario de las clases de ciencias que se les ofrece a los docentes en formación inicial, está marcado continuamente por la separación entre la conceptualización y la experimentación, es decir, que no se promueve la articulación entre ellas normal que la de existir.

Otro aspecto que se le suma a la desarticulación anterior, es la importancia y valoración para considerar a los participantes, no aisladamente, sino a través de sus interacciones con otros pares, en los cuales la socialización como una fase de intercambio y defensa de las ideas se vuelve importante, ya que favorece el desarrollo de habilidades cognitivas lingüísticas como la argumentación, la explicación, la justificación, la definición y la descripción (Camacho & Quintanilla, 2008; Castillo, Arellano, Jara, & Merino, 2013).

Afirmamos así que la problemática de la fragmentación (a nivel universitario) entre la conceptualización que se ofrecen en las clases de química y la experimentación que practican en los laboratorios, no facilita de manera razonable la adquisición de conocimiento químico en la formación inicial docente en ciencias naturales, por lo tanto, este documento plantea como propósito usar la HFCs para encontrar elementos que ayuden a minimizar la fragmentación pero sobre todo que contribuyan en la adquisición de dicho conocimiento por parte de los docentes en formación inicial.

Como estrategia de delimitación, este trabajo considerará como objeto de análisis el caso de la combustión, ya que es considerado fundamental en el proceso de enseñanza-aprendizaje-evaluación de la química (Atkins, 1999, 2005; Gillespie, 1997; Hill, 2010; Kind, 2004a, 2004b) y específicamente abordaremos el análisis histórico crítico de dos experimentos realizados por Antoine Lavoisier en el año 1775.

2. Un análisis histórico crítico: la perspectiva de Andrew Pickering

Para iniciar la profundización de este apartado es fundamental clarificar lo que entendemos por análisis histórico crítico. Esta postura que ha sido ampliamente fundamentada por investigadores como García (2009) y Granés & Caicedo (1997) ha tenido una trayectoria que ha estado marcada principalmente por el estudio de los documentos originales que elaboraron los científicos en cada una de sus épocas. El propósito que se tiene con este tipo de análisis es profundizar en la búsqueda de 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 los científicos por medio de los documentos que escribieron que conlleven a una construcción intencionada desde una mirada educativa que permita realizar nexos con el conocimiento común (Ayala, 2006).

Ese diálogo que se establece con el mundo a través de sus diferentes documentos, nos llevan a valorar los aspectos sociales, contextuales y culturales como aspectos que influyen y componen la ciencia. De esta manera, se consigue interpretar la actividad científica como una actividad profundamente humana, por ende, la generación de conocimiento científico estará mediada por diversas relaciones socioculturales. La idea de asumir a la ciencia como una construcción de los humanos pone en evidencia que las teorías y las prácticas experimentales en general y la

experimentación en particular son producto de los acuerdos, disputas, controversias a los que estaban expuestos los diferentes colectivos científicos. Otra característica importante que podemos referenciar es que la teoría y la experimentación siempre han estado confluyendo paralelamente.

La historia y la filosofía de las ciencias se han encargado de enfatizar que lo primordial en los procesos y productos de las ciencias son las teorías y se desatendió la función que podía llegar a tener la experimentación en la generación de conocimiento científico. Sin embargo, con el llamado de atención que hizo Hacking (1996) sobre el significado y relevancia de la intervención, entendida aquí como la experimentación, permitió reivindicar su importancia y sobre todo constituyó un giro hacia su estudio. Reivindicar y revalorizar la experimentación trajo una oleada de investigaciones sobre los instrumentos, los procedimientos y los mismos modelos científicos que a través de ella se justificaban.

Es aquí donde tiene cabida la perspectiva Andrew Pickering (1981, 1989) ya que él argumenta que las actividades que los científicos realizan para representar e intervenir en el mundo real tienen un vínculo con los propósitos y dinámicas socioculturales que movilizan a las comunidades científicas, de esta manera, establece que existe *estabilización social*. Dicha estabilización se logra a partir de los acuerdos que se dan entre el científico y la comunidad científica a la cual se circunscriben, en este sentido, Pickering sostiene que la actividad teórico experimental de los científicos está ambientada en el espacio fenomenológico sobre el cual trabajan, ahora bien, para comprender esta fijación es necesario observar la cultura técnica del campo (todos aquellos aportes de orden procedimental, instrumental y fenomenológico que previamente han sido investigados por científicos que lo precedieron) al cual pertenecen y es en este esfuerzo de integración que los científicos terminan por alinear sus actividades teórico experimentales con la de sus colegas, por ello al hombre y mujer de ciencia en la actualidad ya no son considerados como genios aislados, sino como miembros de una escuela científica estructurada por condiciones sociales particulares y por un contexto definido que le da sentido y valor (Schubring, 1996).

Como planteamos anteriormente, la estabilización social incluye las actividades teórico experimentales realizadas por el científico, por eso, Pickering plantea una *estabilización interactiva* la cual está inmersa en dichas actividades. Esta última estabilización se daría entre tres elementos estructurales que están presentes en la experimentación:

- Un **procedimiento material** (es el complejo de acciones realizadas en el mundo material: disponer los aparatos y hacerlos funcionar adecuadamente, esto es, ponerlos en marcha y controlar su funcionamiento).
- Un **modelo instrumental** (expresa la comprensión conceptual del funcionamiento del aparato por parte del experimentador; suele ser central para el diseño, la realización y la interpretación del experimento).
- Un **modelo fenoménico** (cifra la comprensión conceptual de los aspectos del mundo fenoménico que están siendo estudiados por parte del experimentador; sin él, los resultados carecerían de sentido y significación, y no podrían ser interpretados).

Es perentorio aclarar que los tres elementos deben entenderse de manera integrada y sin jerarquías, en otras palabras, no se expresan de manera individual sino que se manifiestan en una continua reciprocidad, es decir, que los científicos en el momento de formalizar un experimento los configuran en un juego constante y no de forma lineal sino complementaria, con la intención de producir nuevo conocimiento. Estos elementos que él propone constituyen el mecanismo mediante el cual se acudirá a la historia de la combustión y que se presentan a continuación.

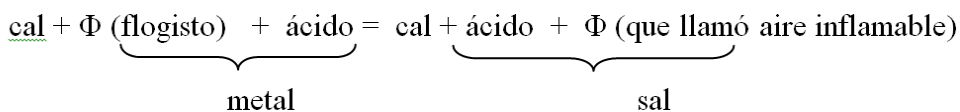
3. El caso de la experimentación asociada a la combustión de los metales

Una vela incandescente, la oxidación de los metales, la ignición en un vehículo y la respiración son manifestaciones del fenómeno de la combustión. Este fenómeno tan común en la actualidad y al que nos referimos con naturalidad “vivió” un proceso excepcional, por ejemplo, en la época de la alquimia las investigaciones que sobre ella realizaron permitió la elaboración de instrumentos, la fabricación de herramientas y la identificación de sustancias, que fueron consideradas posteriormente para el desarrollo de la química moderna (Principe, 2002).

El desarrollo de la alquimia abarcó la mayoría de las explicaciones de los problemas que iban apareciendo en torno a la metalurgia, la física, la medicina, la astrología, la semiótica, el misticismo, el espiritualismo y el arte. Hacia el siglo XVII la alquimia experimentó un período ascendente similar a lo que ocurre en la etapa de especialización donde se alcanzó una expansión incalculable ampliando sus aplicaciones.

Finalizando este siglo aparece George Ernest Stahl (1659 – 1734) quien logró acomodar, extender y ordenar lo que había adquirido de sus antecesores (Johann von Löwenstern-Kunckel (1630 – 1703), Johann Rudolf Glauber (1604 – 1670) y Johann Joachim Becher (1635 – 1682)) sobre la teoría de las afinidades, la teoría de las sales, los principios y fue capaz de dar origen a los conceptos tradicionales de la química, como mixtión, agregado, principio y afinidad. Además, la dedicación, estudio y observación de lo que ocurría en los metales lo llevó a preocuparse y relacionar la combustión y la calcinación. Todo este conglomerado de ideas sumado a la tierra pingüe de Becher a la cual Stahl decidió nombrar como flogisto, a la cual posteriormente alcanzó un estatus importante para la época gracias a las explicaciones que lograba dar a los fenómenos relacionados con la combustión (Cabrera, 2012).

La formulación de la idea de flogisto fue aprovechada por Joseph Priestley (1733 – 1804) y Henry Cavendish (1731 – 1810); este último la usaba para interpretar los resultados de las disoluciones que realizaba, por ejemplo, aisló y caracterizó el “aire inflamable” (actualmente hidrógeno) desprendido por los metales atacados por el ácido, explicándolo de la siguiente manera:



Igualmente tanto historiadores de las ciencias en general y de la química en particular valoran a personas como Robert Boyle (1627 – 1691), John Mayow (1640 – 1679), Robert Hooke (1635 – 1703), Carl Wilhelm Scheele (1742 – 1786), y Antoine Laurent Lavoisier, que ya fuera antes o después de los mencionados previamente, también fue objeto de su estudio, la combustión. Cada uno de ellos llevó a cabo diferentes experimentos en pro de la búsqueda de explicaciones que fueran más allá de las causas y los efectos o de la composición y naturaleza del aire, es decir, que a través de sus experimentos debatían y producían conocimiento que contribuyera a explicar y asociar no solamente las manifestaciones anteriores sino todas aquellas que fueran apareciendo.

Seria formidable presentar el análisis de cada uno de los experimentos que ellos realizaron sobre la combustión, sin embargo, limitaremos el análisis únicamente a dos experimentos asociados a la combustión de los metales realizados por Antoine Laurent Lavoisier. Estos experimentos han sido considerados importantes dentro del desarrollo de la química, tanto así que la revista *Chemical and Engineering News* en su número 81 del 25 de agosto 2003 divulgada por el órgano de difusión más potente de la sociedad química del mundo, es decir, la *American Chemical Society* lo ubicó dentro de los diez de mayor importancia para el desarrollo de la química en todas sus áreas de trabajo (Carmona, 2010; Chamizo, 2010; Freemantle, 2003). Es más un historiador como Harré (1980) lo destacó como uno de los grandes experimentos científicos.

Cabe recordar que dichos experimentos aparecen descritos en las *Memorias de Lavoisier* (1948) y que basados en los elementos propuestos por Pickering emprenderemos su correspondiente estudio.

4. Memoria sobre la calcinación del estaño en vaso cerrado y sobre la causa del aumento del peso que este metal experimenta durante la operación (Lavoisier, 1774).

Es necesario aclarar que los elementos propuestos de Pickering no son lineales, por el contrario, los tres se entremezclan continuamente y están en juego constantemente; sino que por motivos de presentación es necesario ubicar uno antes del otro. Iniciemos...

Tanto el experimento que fue estudiado aquí como todos los que realizó Lavoisier siempre se caracterizaron por el perfeccionamiento, precisión y pulcritud de los instrumentos que utilizaba, por ejemplo, en esta memoria los materiales utilizados fueron retortas que tuvieran un alto desempeño cuando fueran sometidas al calor (Figura 1), embudo de cartón para introducir el plomo o el estaño que iba a calcinar y una máscara sólida para protegerse de cualquier explosión de la retorta, es decir, que el *modelo instrumental* Lavoisier lo tenía tan claro, que sabía y conocía las condiciones, el tiempo y las propiedades de los elementos o sustancias que debía utilizar.

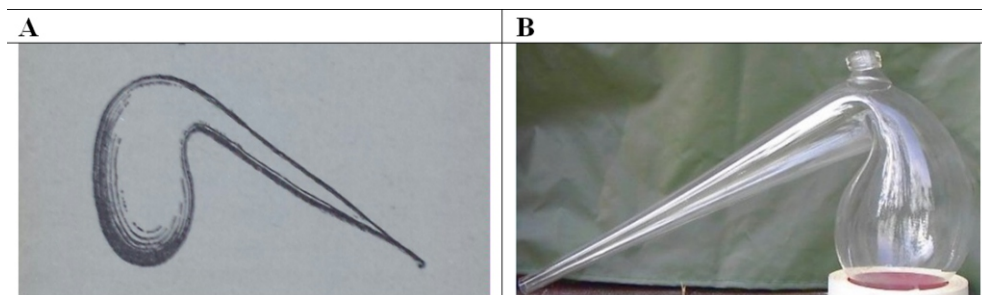


Figura 1. a. Retorta representada por Lavoisier (1774, p. 61). b. Retorta actual (Fuente tomada de <http://chemistry.about.com>)

Conocer el funcionamiento de cada uno de los instrumentos que utilizaría en el o los experimentos, era significativo para Lavoisier ya que podía demostrar el **modelo fenoménico** que había estado elaborando por varios años. Un punto de partida para su modelo fue el fenómeno que él llamaba revivificación de las cales o reducción de los óxidos en la actualidad y que el describe así “la efervescencia que constantemente acompaña las revivificaciones de las cales metálicas, es decir, cada vez que una sustancia metálica pasa del estado de cal al de metal, viene apoyar esta teoría” (Lavoisier, 1774, p. 58).

La teoría a la cual se refiere Lavoisier fue aquella que le permitió sustentar que tanto en la revivificación de las cales como en la calcinación de los metales “*una parte del aire mismo, o de alguna materia contenida en el aire, que existe en estado de elasticidad*” (Lavoisier, 1774, p. 57) se desprende o se combina respectivamente. Como podemos leer, esta teoría a diferencia de la teoría del flogisto, no asumía que estas dos manifestaciones fenoménicas pertenecientes a la combustión ocurrieran debido a la intervención del carbón sino que hacia parte del aire.

Esta interpretación del fenómeno sumado a los instrumentos que estaban a su alcance, facilitaron que emprendiera la incesante búsqueda de la causa del aumento de peso en el interior de un sistema cerrado, como el de la retorta.

La incesante búsqueda estuvo enmarcada dentro de un **procedimiento material**, para este caso cabe destacar dos momentos: la retoma de experiencias previas y la comprobación experimental de teorías. En el caso de la retoma de experiencias previas consistió en revisar aquellas que le aportaran elementos teóricos, experimentales y fenomenológicos similares o próximos a los que estaba estudiando. Podemos ampliar esta idea con el ejemplo que Lavoisier relata en esta memoria: a medida que revisaba el *Tratado del peso de la llama y del fuego* escrito por Boyle se enteró que este también había identificado el aumento de peso en los metales calcinados, por ello, decidió retomar todo lo que hizo Boyle y hacer una serie de ajustes, de tal manera, que tenía en cuenta tanto las condiciones que Boyle indicaba sino otras para lograr mayor poder explicativo.

Las explicaciones sobre el fenómeno de la combustión que realizó Boyle le permitieron a Lavoisier (1774, p. 59) emitir la siguiente reflexión:

“...si el aumento de peso de los metales calcinados en vasos cerrados se deben, como pensaba Boyle, a la adición de la materia de la llama y del fuego que penetra a través de los poros del vidrio y se combina con el metal; entonces, si después de haber introducido una cantidad conocida de metal en un vaso de vidrio cerrado herméticamente, se determina exactamente el peso, y luego se procede a la calcinación por el fuego de carbón, como lo hizo Boyle; si, finalmente, se vuelve a pesar el vaso después de la calcinación y antes a pesar el vaso después de la calcinación y antes de abrirlo, debe encontrarse aumentado el peso en toda la cantidad de materia del fuego que se ha introducido durante la calcinación.

Si, por el contrario, pensaba, el aumento de peso de la cal metálica no es debido a la combinación con la materia del fuego ni con otra materia exterior, sino a la fijación de una parte del aire contenido en la capacidad del vaso, éste no deberá ser más pesado después que antes de la calcinación; estará en parte vacío de aire, y sólo en el momento en que vuelva a entrar la porción del aire que falta, aparecerá el aumento de peso del vaso”.

Acto seguido a esta reflexión, y con el propósito de buscar una respuesta a la causa del fenómeno de la combustión, Lavoisier inicio no solamente la replicación del experimento sino que hizo los ajustes necesarios tanto del procedimiento como en los materiales que utilizó Boyle. Las adaptaciones y su correspondiente procedimiento Lavoisier (1774, pp. 61–62) las describe de la siguiente manera:

“...tomé una de las retortas...cuyo cuello había sido estirado a la lámpara hasta formar un tubo capilar. Esta retorta contenía... 8 onzas de estaño, exactamente pesadas, y habiéndola pesado, para saber el peso de la retorta, independientemente de las 8 onzas de estaño que contenía... La balanza que utilicé en todas las experiencias descritas en esta memoria...podía pesar hasta 8 y 10 libras (unos 5 kilos)... después de haber determinado el peso de la retorta y del estaño que contenía, la puse sobre el fuego de carbón... Continué el calentamiento hasta que el estaño comenzó a fundirse; entonces, sin retirar la retorta del fuego, hice cerrar con un soplete la abertura capilar del extremo del cuello, y luego hice enfriar el vaso tan lentamente como lo había calentado... procedí a la calcinación...la retorta fue puesta en el fuego...el estaño fundió completamente... la superficie perdió el brillo que tenía en el primer momento, cubriéndose de una película que, poco a poco, se hizo consistente y rizada; al mismo tiempo se formaron unos copos negros. Poco tiempo después, noté que se depositaba en el fondo del vaso, bajo el estaño, un polvo negro más pesado que el metal en fusión”.

Con este experimento sobre la calcinación del estaño podemos notar que Lavoisier intentaba evitar el contacto entre el sistema que contenía el estaño y el exterior y a su vez quería identificar el papel que jugaba el aire que quedaba dentro de la retorta. De esta manera podría sustentar que el aumento de peso no era a causa ni de la retorta ni de la llama emitido por el carbón. Aunque satisfecho con los resultados de este experimento, Lavoisier realizó un segundo experimento con una retorta de mayor capacidad para poder obtener un aumento mayor de peso, pero se omite la descripción del procedimiento porque fue semejante a la anterior.

Como conclusión fundamental de estos experimentos Lavoisier (1774, p. 78) escribió:

“Se ha visto que una parte del aire es susceptible de combinarse con las sustancias metálicas para formar cales, mientras que otra parte del mismo aire se resiste constantemente a esta combinación. Esta circunstancia me lleva a suponer que el aire de la atmósfera no es en modo alguno un ser simple, sino que está compuesto de sustancias muy diferentes; y el trabajo que he emprendido sobre la calcinación y la revivificación de las cales de mercurio me ha confirmado

singularmente esta opinión. Sin anticipar las consecuencias que resulten de este trabajo, creo poder anunciar aquí que no todo el aire de la atmósfera es respirable; que es su porción salubre la que se combina con los metales durante la calcinación, y que lo que queda después de la calcinación es una especie de mofeta, incapaz de mantener la respiración de los animales o la inflamación de los cuerpos”.

5. Memorias sobre la naturaleza del principio que se combina con los metales durante la calcinación y que causa el aumento de su peso (Lavoisier, 1775).

Al estudiar esta memoria basado en los tres elementos de Pickering se encuentra lo siguiente:

El **modelo fenoménico** aparece en esta memoria ejemplificado a través del propósito que se planteó Lavoisier (1775, p. 82) “*demostrar que el principio que se une a los metales durante la calcinación, que aumenta su peso y los lleva al estado de cales, no es otra cosa que la porción más pura y más salubre del aire; de modo que, si el aire, después de haber formado parte de una combinación metálica, se hace libre, debe estar en condiciones de ser eminentemente respirable y más apropiado que el aire de la atmósfera para mantener la inflamación y la combustión de los cuerpos*”, ubicó este propósito dentro de este elemento de Pickering porque es en función de este que él empieza a desarrollar los diversos instrumentos, materiales y sobre todo orientó la búsqueda de las cales (actualmente óxidos) necesarias para poder realizar el experimento, esto lo hace explícito cuando dice “*...para desentrañar el misterio de la reducción de las cales metálicas, utilizar en todas mis experiencias las cales que son susceptibles de reducción sin adición*” (Lavoisier, 1775, pp. 82).

Planteado así ese propósito, Lavoisier emprende la descripción de dos experimentos, en los cuales se hace evidente el **modelo instrumental** que permite comprender el funcionamiento de los instrumentos, las cantidades necesarias para realizar el experimento y sobre todo, los pasos que debe seguir para obtener resultados más precisos.

Con el primer experimento, buscó asegurarse que el mercurio precipitado por se era una verdadera cal metálica y que daba los mismos resultados al adicionarle flogisto, por ello describe

“mezcle 1 onza (unos 30 gramos) de esta cal con 48 granos (unos 2,5 gramos) de carbón en polvo, e introduje todo en una pequeña retorta de vidrio de, cuanto más, unas 2 pulgadas cúbicas (unos 40 mililitros) de capacidad, que puse en un horno de reverbero proporcionado a su tamaño. El cuello de la retorta tenía más o menos 1 pie (32 centímetros) de largo y de 3 a 4 líneas (6 a 8 milímetros) de diámetro, había sido acotado en diferentes sitios con una lámpara de esmaltador, y su extremidad estaba dispuesta de modo que podía ponerse debajo de una campana de vidrio bastante grande, que estaba bastante llena de agua...” (Lavoisier, 1775, pp. 84).

Los resultados que logró Lavoisier fueron que el aire obtenido

“1° es susceptible de combinarse con el agua por agitación y de comunicar al agua todas las propiedades de las aguas acidulas, gaseosas o aéreas, tales como son las de Selk, de progues,

de Bussang, de Pyrmont, etc.; 2° provoca la muerte de los animales que se ponen en él; 3° las bujías y, en general, todos los cuerpos combustibles, se extinguen al instante en él, 4° precipita el agua de cal; 5° se combina con gran facilidad con los álcalis, sean fijos o volátiles, quitándoles su causticidad y dándoles la propiedad de cristalizar” (Lavoisier, 1775, pp. 85–86).

Lavoisier después de asegurarse que el mercurio precipitado per se era una cal, prosiguió con el segundo experimento con la intención de examinar esa cal aisladamente, reducirla sin adición y ver si desprendía un fluido elástico (gas) para determinar su naturaleza, en este caso puso:

“en una retorta, también de dos pulgadas cúbicas de capacidad, 1 onza (unos 30 gramos) de mercurio precipitado per se, sin ningún agregado; dispuse el aparato en la misma forma que para el experimento anterior y procedió de modo que todas las circunstancias fueran exactamente las mismas. Esta vez la reducción se hizo un poco más difícilmente que por la adición de carbón; requirió más calor, y no hubo efecto sensible hasta que la retorta comenzó a enrojecer ligeramente; entonces el aire se desprendió y, poco a poco, paso a la campana. Manteniendo la misma fuerza del fuego durante dos horas y media, se redujo la totalidad del mercurio...” (Lavoisier, 1775, pp. 86–87).

Al igual que con el experimento anterior, en los resultados le permitieron se mostraba que el aire:

“1° que no era susceptible de combinarse con el agua por agitación; 2° que no precipitaba el agua de cal, sino que apenas la enturbiaba; 3° que no se unía con los álcalis fijos ni volátiles; 4° que en nada disminuía su calidad cáustica; 5° que pude servir para calcinar los metales otra vez; 6° que, en fin, no tenía ninguna de las propiedades del aire fijo; lejos de matar, como él, a los animales, parecía, por el contrario, muy apropiado para mantener su respiración...” (Lavoisier, 1775, pp. 87–88).

De los resultados obtenidos con los dos experimentos, Lavoisier concluye que no todas las sales metálicas se reducen; el aire obtenido en el segundo experimento es más respirable, más combustible, y, más puro que el aire que respiramos; en último lugar, dice que *“parece probado que el principio que se combina con los metales durante la calcinación, y que aumenta su peso, no es otra cosa que la porción más pura del aire que nos envuelve y que respiramos, el que pasa, en esta operación, del estado de expansibilidad al de solidez”* (Lavoisier, 1775, pp. 88).

La cita anterior se podría catalogar como contundente en las pretensiones que tenía Lavoisier, ya que sirve como fundamento para postular al oxígeno como el principio que participa activamente en la combustión, calcinación, corrosión, reducción, respiración y fermentación.

Finalmente, al leer los dos experimentos teniendo en cuenta a Pickering, se identifica que dentro del **procedimiento material** Lavoisier utilizó lentes, sales (de hierro y de mercurio precipitado per se), campanas de vidrio, retorta (recipiente de vidrio), horno de reverbero, lámpara de esmaltador y herrada (cubo de madera con grandes aros de hierro) los cuales eran diseñados por él de acuerdo a las necesidades que tenía.

En términos generales a partir del estudio de estos experimentos realizados por Lavoisier sobre la revivificación de las sales metálicas y la calcinación de los metales como ejemplos paradigmáticos del fenómeno de la combustión se pueden enunciar las siguientes ideas:

La química desde 1770 y con el trabajo riguroso de Antoine Lavoisier, promovió el uso de la experimentación como un elemento clave en el estudio de fenómenos, como por ejemplo, la combustión inorgánica (calcinación, reducción, y corrosión de los metales). Con esto se destaca que fue el siglo XVIII un momento clave en el desarrollo de la química ya que marca una ruptura entre quienes la ejercían de forma cualitativa y se atendían solamente con las explicaciones, y aquellos como Lavoisier quien pretendía demostrar sistemáticamente a través de lo que él llama experiencias lo que estaba ocurriendo en la naturaleza o el sistema investigado.

La mayoría de los experimentos realizados por Lavoisier eran de carácter demostrativo, con ellos buscaba confirmar las explicaciones a partir de su modelo.

Aunque no se mencionó en el estudio de los experimentos, sí es pertinente referenciar que las experiencias que realizó Lavoisier siempre las llevaba a cabo en presencia de diferentes personajes importantes de la época, por ejemplo, Trudaine, el Duque de la Rochefoucault, de Montigny, Macquer y Cadet quienes pertenecían en aquella época a la Academia, en cuanto a esto podemos preguntarnos ¿por qué lo hacía en presencia de ellos? y la respuesta que se puede dar es que el papel político y científico de las comunidades en ese momento y en la actualidad es fundamental para la aceptación de nuevas teorías y modelos explicativos, entonces esto llevaba a Lavoisier a reunir a aquellos que validaban el conocimiento o por lo menos lo facilitarían a su debido tiempo.

6. Implicaciones para la formación inicial de docentes de ciencias naturales

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 vimos en este caso, el estudio de la *Memoria* 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.

Si rescatamos 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.

Lo anterior nos permite formular por el momento tres implicaciones para la formación inicial de docentes de ciencias naturales:

1. Es significativo y valioso continuar realizando y complementando este tipo de análisis histórico, con el propósito de constuir 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.

2. 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 que se debe propender por una sincronía entre 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 cognitivo lingüísticas y sobre todo se articule el pensamiento, la acción y el lenguaje.

3. Finalmente, si se lleva a las clases de ciencias y en este caso química, el estudio de este tipo de textos históricos, los estudiantes podrán apreciar la creatividad en la elaboración de materiales y los misterios que encierran el diseño de experimentos, los cuales investigados desde una mirada educativa 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 el mundo.

Agradecimientos

Henry Giovany Cabrera Castillo le agradece a Colciencias por la beca otorgada (Convocatoria 567 – Nacional) y a la Universidad del Valle por la comisión de estudio concedida en el marco del *Programa de Semillero Docente*.

Este capítulo sigue las orientaciones teóricas y metodológicas del **Proyecto COLCIENCIAS-CONICYT Folio: PCCI130073** y del **Proyecto de Movilidad Académica DRI-UC 024/14** que dirige el Dr. Mario Quintanilla Gatica.

Lista de referencias bibliográficas

- AMADOR, R., GALLEGU, R., & PÉREZ, R. (2008). Desde qué versiones epistemológicas construyen modelos mentales los profesores en formación inicial: una investigación didáctica. *Tecné, Episteme Y Didaxis*, (24), 8–22. Retrieved from <http://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/388>
- ATKINS, P. (1999). Chemistry: the great ideas. *Pure Applied Chemistry*, 71(6), 927–929.

- ATKINS, P. (2005). Skeletal chemistry. *Education in Chemistry*, 42(1), 20–25. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:SKELETAL+CHEMISTRY#9>
- AYALA, M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. *Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. Proposições*, 17(1), 19–37.
- CABRERA, H. G. (2012). Historia y epistemología de la ciencia: el caso de la combustión. *Innovación Y Ciencia*, 19(1), 32–42.
- CAMACHO, J. P., & QUINTANILLA, M. (2008). Resolución de problemas científicos desde la historia de la ciencia: retos y desafíos para promover competencias cognitivo lingüísticas en la química escolar. *Ciência & Educação*, 14(2), 197–212.
- CARMONA, E. (2010). La importancia de la experimentación en química. *Revista Real Academia de Ciencias Exactas Físicas Y Naturales*, 104(1), 189–202.
- CASTILLO, C., ARELLANO, M., JARA, R., & MERINO, C. (2013). Identificación de las habilidades cognitivo lingüísticas en el laboratorio de química en profesores en formación. In IX (pp. 9–12). Girona.
- CHAMIZO, J. A. (2010). Introducción experimental a la historia de la química (Primera., p. 65). México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México. Retrieved from http://depa.fquim.unam.mx/-SHFQ/docs/IntrExpHistQuim_JAC.pdf
- COELHO, J., & PRAIA, J. (1998). Materiales didácticos basados en la historia y la epistemología de la ciencia. *Nodos Y Nudos*, 1(5), 16–22.
- CORTÉS, A. L., & DE LA GÁNDARA, M. (2006). La construcción de problemas en el laboratorio durante la formación del profesorado: una experiencia didáctica. *Enseñanza de Las Ciencias*, 25(3), 435–450.
- CUÉLLAR, L., QUINTANILLA, M., & CAMACHO, J. P. (2008). Introducción de la historia de la química en la formación docente. *Aportes para un debate teórico y campo. III Jornada D'Història de La Ciència I Ensenyament*, 1(2), 109–117. doi:10.2436/20.2006.01.64
- CUELLAR, L., QUINTANILLA, M., & MARZÁBAL, A. (2010). La importancia de la historia de la química en la enseñanza escolar: análisis del pensamiento y elaboración de material didáctico de profesores en formación. *Ciência & Educação*, 16(2), 277–291.
- FREEMANTLE, M. (2003). Chemistry at its most beautiful. *C & ENews*, 81(34), 27–30.
- GARCÍA, E. G. (2009). Análisis histórico-crítico del fenómeno eléctrico: hacia una visión de campos.
- GIL, D., FURIÓ, C., VALDÉS, P., SALINAS DE SANDOVAL, J., MARTÍNEZ-TORREFROSA, J., GUISASOLA, J., PESSOA DE CARVALHO, A. (1999). ¿Tienen sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de Las Ciencias*, 17(2), 311–320. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=94962&orden=23666&info=link>

- GILLESPIE, R. J. (1997). The Great Ideas of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 74(7), 862–864.
- GRANÉS, J., & CAICEDO, L. M. (1997). Del contexto de la producción de conocimientos al contexto de la enseñanza. *Análisis de una experiencia pedagógica*. *Revista Colombiana de Educación*, (34), 25–35.
- HACKING, I. (1996). *Representar e Intervenir* (Primera., p. 321). México, D. F.: Paidós.
- HARRÉ, R. (1980). Grandes experimentos científicos: veinte experimentos que han cambiado nuestra visión del mundo (pp. 1–210). Labor.
- HILL, J. (2010). Atkins'Nine principal ideas of Chemistry': Cornerstone concepts of a tertiary foundation chemistry course. *Chemistry Education in New Zealand*, (November), 12–13. Retrieved from http://nzic.org.nz/chemed-nz/issue-archive/ChemEdNZ_Nov2010_Hill.pdf
- INSAUSTI, M. J. (1997). Análisis de los trabajos prácticos de química general en un primer curso de universidad. *Enseñanza de Las Ciencias*, 15(1), 123–130.
- IZQUIERDO, M., QUINTANILLA, M., VALLVERDÚ, J., & MERINO, C. (2007). Una nueva reflexión sobre la historia y filosofía de las ciencias y la enseñanza de las ciencias. In M. Quintanilla (Ed.), *Historia de la ciencia. Aportes para la formación del profesorado*. Vol. I (pp. 13–36). Santiago de Chile: Editorial Conocimiento S.A.
- KIND, V. (2004a). *Beyond Appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas* (Second Edi., pp. 1–84). London: Royal Society of Chemistry.
- KIND, V. (2004b). *Mas allá de las apariencias: Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química* (Primera ed., pp. 1–156). México, D. F.: Santillana.
- LAVOISIER, A. (1774). Memoria sobre la calcinación del estaño en vaso cerrado y sobre la causa del aumento del peso que este metal experimenta durante la operación. In J. Muñoz, L. Leloir, & E. Braun (eds.), *Memorias sobre el oxígeno, el calórico y la respiración* (pp. 57–80). Buenos Aires: EMECÉ.
- LAVOISIER, A. (1775). Memoria sobre la naturaleza del principio que se combina con los metales durante la calcinación y que causa el aumento de su peso. In J. Muñoz, L. Leloir, & E. Braun (Eds.), *Memorias sobre el oxígeno, el calórico y la respiración* (pp. 81–90). Buenos Aires: EMECÉ.
- LAVOISIER, A. (1948). *Memorias sobre el oxígeno, el calórico y la respiración*. (J. Muñoz, L. Leloir, & E. Braun, Eds.) (p. 380). Buenos Aires: EMECÉ.
- MATTHEWS, M. R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de Las Ciencias*, 12(2), 255–277.
- MATTHEWS, M. R. (2009). Enseñando las componentes filosóficas y de las formas de ver el mundo de la ciencia: algunas consideraciones. *Revista de Enseñanza de La Física*, 22(1), 31–42.
- MEMBIELA, P., & VIDAL, M. (2005). Una investigación sobre actividades prácticas de germinación y combustión en la formación inicial de los maestros. *Enseñanza de Las Ciencias*, (Número Extra. VII Congreso), 1–4.
- NIAZ, M. (2002). Historia y filosofía de las ciencias: necesidad de su incorporación en los textos universitarios de ciencias. *Saber*, 14(1), 68–77.

- NIAZ, M. (2011). Formación de profesores de ciencias: Una perspectiva basada en la historia y filosofía de la ciencia. *Tecné, Epistémé Y Didaxis*, (30), 83–90.
- PICKERING, A. (1981). The Hunting of the Quark. *Isis*, 72(2), 216–236.
- PICKERING, A. (1989). Living in the material world. In D. Gooding, T. Pinch, & S. Schaffer (Eds.), *The uses of experiment: Studies in the natural sciences* (First publ., pp. 275–298). Cambridge: Cambridge University Press.
- QUINTANILLA, M. (2007). La enseñanza del modelo atómico de John Dalton desde una visión naturalizada de la historia de la química. In *Historia de la ciencia. Propuesta para su divulgación y enseñanza. Vol. II* (pp. 67–87). Santiago de Chile: Editorial Conocimiento S.A.
- QUINTANILLA, M., IZQUIERDO, M., & ADÚRIZ-BRAVO, A. (2005). Avances en la construcción de marcos teóricos para incorporar la historia de la ciencia en la formación inicial del profesorado de ciencias naturales. *Enseñanza de Las Ciencias*, (Número Extra), 1–4.
- QUINTANILLA, M., SAFFER, G., IZQUIERDO, M., & ADÚRIZ-BRAVO, A. (2007). Nicolás Copérnico desde una propuesta realista pragmática de la historia ciencia. In *Historia de la ciencia. Propuesta para su divulgación y enseñanza. Vol. II* (pp. 47–67). Santiago de Chile: Editorial Conocimiento S.A.
- SCHUBRING, G. (1996). Tendencias actuales en la investigación sobre la historia institucional de la ciencia y su aplicación a la cultura islámica. *LLULL*, 19, 177–193.

Capítulo 10

*Una visión naturalizada de la historia de la química: el caso del modelo atómico de John Dalton*²⁴

Mario Quintanilla Gatica.

Pontificia Universidad Católica de Chile
Chile

Luigi Cuellar.

Universidad Católica de la Santísima Concepción
Chile

Henry Giovany Cabrera Castillo.²⁵

Universidad del Valle
Colombia

Índice

Resumen

1. Introducción

2. La visión naturalizada de la historia de la química

3. El contexto histórico de la ciencia europea en el siglo XIX

4. John Dalton: el químico que se atrevió a pesar átomos

5. Incertidumbres y 'evidencias': un nuevo modelo atómico

6. Algunas reflexiones finales para el debate didáctico

Lista de referencias bibliográficas

Resumen

En este capítulo se presentan y discuten algunos aspectos históricos acerca del origen y desarrollo del modelo atómico de John Dalton, intentando orientar algunas directrices para su enseñanza desde una aproximación naturalizada de la historia de la química frente a los desafíos que nos impone una nueva cultura docente. El principal objetivo es presentar algunos de los aportes que el modelo cognitivo de ciencia puede proporcionar a la ciencia escolar desde una visión realista pragmática o lo que se ha dado en llamar de racionalismo moderado o hipotético (Izquierdo, 2000). Interesa, especialmente, que el profesor de química disponga de nuevos elementos teóricos y prácticos para fundamentar una posición epistemológica frente a la evolución y desarrollo histórico del conocimiento científico, de cómo se puede resignificar en la escuela y que es, de manera habitual, transmitido dogmáticamente en los libros de texto de ciencia.

²⁴ Versión corregida y aumentada del capítulo “La enseñanza del modelo atómico de John Dalton desde una visión naturalizada de la historia de la química” (Quintanilla, 2007).

²⁵ Este capítulo corresponde a un indicador de productividad y transferencia de la pasantía que este autor está realizando bajo la asesoría del profesor Mario Quintanilla.

1. Introducción

Considerando la importancia del estudio del desarrollo histórico – epistemológico de los modelos o teorías científicas, de manera progresivamente consolidada en el campo de la didáctica de la ciencias, como un aporte para la comprensión de la dinámica de producción del conocimiento, se ha identificado que la historia de la ciencia alerta a los profesores sobre la necesidad de una aproximación fenomenológica de las representaciones científicas: los estudiantes necesitan saber con qué y cómo se relacionan dichas representaciones y poderlas así confrontar 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, 2003). Haciendo uso de una analogía, planteamos 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* (epistemología), promoviendo cambios futuros que se espera queden reflejados en la manera en que abordan los conceptos y/o modelos científicos con sus estudiantes desde una visión naturalizada de la ciencia (Quintanilla & García, 2005; Quintanilla, Saffer, Izquierdo, & Adúriz-Bravo, 2007).

Como se ha planteado en otros trabajos (Sanmartí, 2002; Quintanilla, Izquierdo & Adúriz-Bravo, 2005, Izquierdo, Quintanilla, Vallverdú, & Merino, 2007; Merino, 2009), en la actualidad, muchas escuelas de pensamiento, corrientes teóricas, investigadores y autores situados en las disciplinas de carácter metacientífico -como la epistemología, la historia de la ciencia, la sociología de la ciencia y la didáctica de las ciencias naturales- ven a la ciencia como una *actividad humana* de producción, evaluación, aplicación y difusión de *saberes eruditos* inmersa en un contexto histórico, social y cultural que le da sentido a la llamada 'actividad científica' al precisar las finalidades de intervención que se persiguen y los valores que se sostienen o están en juego en las comunidades e instituciones científicas. En este sentido de análisis, consideramos que cobra valor la perspectiva *sociológica* (Bordieu, 2003; Hilgartner, 1990; Shapin & Barnes, 1977), *filosófica* (Bensaude-Vincent, 2000; Estany, 1993), *axiológica* (Echeverría, 1995) y *didáctico-epistemológica* (Izquierdo, 2000; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003) de la historia de la ciencia.

Desde el campo de la sociología de la ciencia y su concepto de posmodernidad, la consolidación de las relaciones entre filosofía e historia es lo que da origen a las teorías actuales de la ciencia. Se construye una serie de *modelos de ciencia* en los cuales ya no interesa solamente la justificación del conocimiento, sino que se habla también de *cómo* se descubre. Hasta hace algún tiempo, la filosofía de la ciencia creía que el descubrimiento era algo psicológico, que no se podía estudiar desde el punto de vista de la filosofía y que, en definitiva, correspondía a la psicología preocuparse de esta problemática. Hoy en día sabemos con demasiados argumentos a favor que no es así. Los filósofos, basados en análisis provenientes del campo de la historia de la ciencia comienzan a promover el desarrollo de modelos de descubrimiento científico (Barona, 1994; Chalmers, 1992, 1993, Boido & Lombardi, 2012a, 2012b).

En las últimas décadas, diversos investigadores han insistido en señalar que la perspectiva del análisis histórico, *acerca de y sobre la ciencia*, se halla ausente de la educación científica en particular, y de la formación docente en general, en diferentes contextos culturales y académicos. En el caso de Chile y Colombia, algunos currículos de los programas académicos reflejan una ausencia de la reflexión metacientífica (epistemológica e histórica) que le contribuya en la adquisición de pensamiento crítico, la comprensión de lo que ha significado el dinamismo de las ciencias que a la postre se evidencian en los su propia práctica (Gallego, Pérez, Gallego, & Torres, 2004, Labarrere & Quintanilla, 2006). Estas investigaciones del campo *didactológico*²⁶ concluyen que la transmisión y divulgación de la ciencia en las instituciones formales (escuelas, universidades) y no formales o informales (medios de comunicación masiva) ignoran de manera intencionada el devenir histórico del conocimiento científico o simplemente "enfatan algunos hitos relevantes" que, debido a la tradición o a la relevancia de determinados contenidos o "formas de entender el devenir histórico", así lo permiten (Gribbin, 2005). De esta manera, queda en evidencia que el profesorado de ciencias naturales y también un número no despreciable de *divulgadores de la ciencia* en los medios de comunicación masiva transmiten una imagen de ciencia normativa y restrictiva bastante alejada de los contextos culturales, sociales o políticos (e inclusive ideológico-filosóficos) en que científicos y científicas han contribuido al dinamismo sistemático, permanente y continuo del conocimiento en distintas épocas (Solsona & Quintanilla, 2005). Partimos del hecho de que el aprendizaje de la ciencia tiene que ver con la evolución y diferenciación de las ideas en la propia historia de la ciencia y de los diferentes puntos de vista de los estudiantes frente al conocimiento, pero además en la propia historia del sujeto que aprende ciencia (Quintanilla, 2005, 2006b).

2. La visión naturalizada de la historia de la química

Para las concepciones realistas de la ciencia, las teorías científicas describen cómo es realmente el mundo. Esto significa que en el mundo "hay cosas, entes, que se pueden caracterizar por sus propiedades, estructura y función: sustancias, animales, vegetales, tipos de energía, etc. Según este principio, las teorías científicas son descripciones verdaderas de lo que pasa en el mundo real. Es una postura mucho más estimulante en el análisis e interpretación de los hechos y las teorías. Su principal dificultad es que dos teorías pueden dar explicaciones o interpretaciones equivalentes de un fenómeno, provocando la duda de cuál de las dos interpretaciones realizadas es "más real". El punto central es llegar a modelizar estas explicaciones para darles coherencia, consistencia y robustez a las representaciones del estudiantado de tal forma que, conscientes de la interpretación que hacen de los fenómenos (o la manera de resolver los problemas que ellos comportan), puedan modificar paulatinamente esas ideas con más y mejor información en un proceso de desarrollo que va desde lo instrumental operativo a lo relacional significativo, según lo anticipábamos oportunamente en otras publicaciones hace ya algún tiempo (Labarrere & Quintanilla, 2001).

²⁶ Nos referimos en particular a la investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales.

En este sentido, el Naturalismo no acepta al Racionalismo ni tampoco la formulación relativista planteada por Feyerabend (1981), proponiendo la selección de teorías se realiza mediante un proceso complejo que incluye la interacción social, cultural y el juicio personal de los científicos (Giere, 1994). Se plantea así la racionalidad como instrumental en tanto cuanto se puede manifestar en diversos grados, dependiendo del contexto y las variables que se estudien. Las leyes no serían, entonces, generalizaciones empíricas bien confirmadas, sino que dependerían del juicio del científico y del contexto en el que se analiza la ley. Se opone así a la concepción clásica de *racionalidad categórica*, que no admite la valoración del juicio científico en la toma de decisiones. En una concepción naturalista de la ciencia, existe una constante aproximación a la verdad, que es parte de la esencia misma de la actividad científica en la historia. Por lo tanto, el enfoque naturalizado de la historia de la ciencia en la enseñanza ha de poner su atención en la experiencia, cultura, lenguaje y pensamiento de los estudiantes como un proceso de desarrollo que no comienza ni termina en la escuela cuando se enfrentan a comprender cómo asumir la lógica y evolución histórica de la ciencia (Quintanilla, 2006).

En el caso que nos convoca, entender el modelo atómico de John Dalton es comprender también su propia historia y la manera en que argumentó el desarrollo de su teoría en una época determinada y condicionada por los factores que se han venido discutiendo en este capítulo, analizando las razones por las cuales dicha teoría fue propuesta, la lógica interna de su estructura conceptual y metodológica, los problemas anteriores que resolvió, aquellos que no pudo abordar y que dieron origen a nuevas propuestas.

De ahí que el modelo cognitivo de ciencia se ajuste muy bien al modelo de ciencia que enseñamos. Giere (1992) usa este modelo para la ciencia de los científicos, proponiendo que para saber cómo es una teoría científica, es necesario saber cómo la utilizan, de hecho, los científicos en sus prácticas cotidianas. Destaquemos que la idea central de *modelo teórico de la ciencia*, según Giere (1992), es que construimos en nuestra mente estructuras complejas "las representaciones mentales", parecidas a las que utilizamos en la vida cotidiana y que consisten en la representación de los fenómenos y los principios que las vinculan entre sí, teniendo como unidad estructural los conceptos científicos que actúan como "mapas internos del mundo externo". La principal diferencia sería que las representaciones científicas por regla general utilizan un lenguaje axiomatizado y las representaciones cotidianas no.

Esta postura epistemológica es conocida como *realismo naturalista* o *realismo pragmático*. Es realista al considerar que la ciencia intenta representar e interpretar el mundo con determinadas ideas. Es naturalista porque pretende explicar los juicios y decisiones científicas a partir de los criterios propios de los científicos y no de principios racionales de carácter general tal y como lo plantean los positivistas más ortodoxos. Esta sería, por así decirlo, la novedad epistemológica de este modelo. Quienes creemos en la actividad científica escolar como resultado de la modelización de la ciencia, apropiamos estas orientaciones teóricas para una propuesta de la

Enseñanza de las Ciencias, basada en *el fenómeno cognitivo humano*, cuyos planteamientos permiten así comprender *la imagen naturalizada de la ciencia del aula*, a saber: (i) el mundo se interpreta con teorías, (ii) las teorías son mutables, (iii) el método de interpretación es evolutivo y natural (por lo tanto muy diverso) y (iv) el modelo teórico y su interpretación han de tener un *sentido humano* (Quintanilla, 2006).

3. El contexto histórico de la ciencia europea en el siglo XIX

La historia de las ciencias como disciplina metacientífica, tiene sus orígenes en el siglo XVIII, en la Ilustración²⁷, y en las últimas décadas ha despertado interés creciente en la comunidad de historiadores, sociólogos y científicos, y particularmente en los didactólogos de la ciencia, de tal manera que se han incrementado las publicaciones, junto a la celebración de numerosos congresos y seminarios internacionales²⁸ donde se aborda el tema y sus aportes teóricos y metodológicos, tanto en la perspectiva de la formación profesional como en la educación científica formal y en la divulgación científica en general. En este ámbito, es quizá oportuno destacar el papel de los museos en la divulgación de la historia de la ciencia, aunque resulten polémicas las metodologías y estrategias que se emplean actualmente, así como el propio concepto de historia de la ciencia que está implícito en estas instituciones de divulgación científica²⁹.

Se ha insistido en otros trabajos (Quintanilla, 1999, 2002 y 2005; Saffer & Quintanilla, 2004, Cuellar, Quintanilla y Marzábal, 2010) que la manera como a través de los siglos se ha ido construyendo y también resignificando la historia de la ciencia es a veces ambigua, compleja, misteriosa y, en algunos casos, inexplicablemente controvertida y confusa de registros, fuentes e información, así como interpretada de múltiples formas según los textos e instrumentos disponibles o legitimados por la institución o el poder político imperante³⁰ (Hackmann, 1985; Samsó, 1991). Al respecto, son muchísimos los ejemplos donde se puede visualizar esta situación en distintas "etapas" de la evolución de las teorías de las diferentes áreas del conocimiento científico. Resaltemos en este sentido elementos vinculados a la *historia de la astronomía* (Samsó, 1991), *historia de la electricidad* (Díaz, 2001), *historia de la tecnología* (Derry & Williams, 1960), *historia de la química* (Izquierdo, 1995), *historia de la medicina* (Crombie, 2000) e *historia de la genética* (Marantz, 2000), por nombrar sólo algunos ejemplos ilustrativos.

Según *las concepciones actuales de construcción de conocimiento*, no se sabe todo lo que esperaríamos saber (y la manera o estructura metodológica en que lo

²⁷ Corriente cultural y filosófica europea que se caracterizó por la revisión del mundo y del hombre en todos los aspectos desde el punto de vista de la razón y de la experiencia. Fue un movimiento intelectual y también artístico que partió de las transformaciones ideológicas del Renacimiento, que se vio potenciado por las revoluciones políticas y económicas acaecidas en Inglaterra durante los siglos XVII y XVIII, respectivamente. Se considera que se "originó" en Gran Bretaña, desde donde pasó a Francia y se extendió luego al resto de Europa. En América contribuyó a promover los movimientos emancipadores de las monarquías del viejo continente. Algunos personajes relevantes de esa época fueron Montesquieu, Voltaire y Rousseau, entre otros.

²⁸ El más importante quizá es el International History, Philosophy, Sociology Conference (IHPST) que se celebra cada dos años. En el 2014, se llevó a cabo la III del IHPST (versión latinoamericana) en la ciudad de Santiago de Chile, Chile.

esperaríamos conocer) acerca de lo que es un *hecho histórico de la ciencia*. Hay momentos específicos en el desarrollo de las diferentes culturas en que la ciencia es sólo un proceso retórico sin grandes logros 'reconocidos', cuyo propósito fundamental es solamente lograr un estatus social, cultural, religioso e inclusive político vinculado al control social de las clases dominantes tal como lo plantea Shapin a propósito de la Enseñanza Tecnocientífica en la Inglaterra Victoriana del siglo XIX³¹:

...Nuestra interpretación provee una explicación integrada de la relación entre los propósitos del control original de los Institutos Técnicos (Mechanic's Institutes) y la naturaleza del conocimiento científico presentado en su curriculum...

Resulta casi evidente que en la reflexión que estamos iniciando nos damos cuenta del enorme valor del lenguaje y de los modos de comunicar y divulgar la historia de la ciencia en diferentes ámbitos: escolares, profesionales, científicos o político-institucionales.

Si nos ubicamos en la Inglaterra de John Dalton, del siglo XIX, nos daríamos cuenta que se promovía una imagen de ciencia en la que se confundía el filantropismo de la burguesía y la educación científica de la clase trabajadora, con la excusa de reducir o impedir la desestabilización social frente al avance de las ideas revolucionarias derivadas del desarrollo industrial y el nuevo orden económico capitalista que cuestionarán Engels y Marx³². Particularmente la zona de Manchester, cercana a Eaglesfield, donde nació John Dalton, se caracterizará por la consolidación progresiva de la Revolución industrial (iniciada hacia 1760), cuyos principales rasgos fueron: la adaptación de nuevas tecnologías, la reducción paulatina del centenario sistema de explotación agraria, la acentuada especificación productiva regional, el aumento del crecimiento económico derivado de la diversidad industrial, el incremento de la burguesía capitalista y el descenso sistemático y progresivo de la mortandad³³.

4. John Dalton: el químico que se atrevió a pesar átomos

Mientras asistíamos a estos cambios históricos en las concepciones de organización y estratificación social, así como a nuevos modelos de producción y distribución del trabajo, el pequeño John Dalton vio por primera vez la luz de este mundo el 6 de septiembre de 1766, en el pueblo de Eaglesfield, Cumberland, al norte de Manchester (Inglaterra). Está documentado que tuvo tres hermanos que murieron jóvenes y dos que sobrevivieron (Jonathan y Mary). De origen humilde, su vida se

²⁹ Al respecto son de interés las ideas de Hackmann, W., en *Instrumentation in the theory and practice of science: scientific instruments as evidence and as aid to discovery* (1984) y de Bennet, J. (1995) en *Can science museums take history seriously?*

³⁰ Ver el interesante análisis sobre la Ciencia Ilustrada, capítulo 3, en el libro de Gribbin, J. (2003) Editorial Crítica.

³¹ (La traducción libre es nuestra): "...Our interpretation provides an integrated explanation of the relationship between the Institutes' original control purposes and the nature of the scientific knowledge presented in their curricula..." (pp 32). En: *Science, Nature and Control: Interpreting Mechanics' Institutes. Social Studies of Science*. Vol 7 (1977) 31-74.

³² Para profundizar estas ideas, ver Shapin & Barnes (1977).

³³ Un detalle más acabado de estos factores puede analizarse en: Pellón, I (2003).

caracterizará por la perseverancia y el desarrollo de su talento de orador en las conferencias públicas después de las misas dominicales. Fue "enseñante" a los doce años para apoyar económicamente a su familia, cobrando unas tarifas modestas, y además durante un tiempo los apoyó en tareas agrícolas hasta que se hizo cargo junto a sus hermanos de la Escuela Cuáquera³⁴ de Kendal, una próspera ciudad cerca de Manchester, donde permanecerá hasta 1797³⁵.

Será a partir de 1787, cuando ya tiene 21 años, el momento en que John Dalton hará de las conferencias públicas, llamadas *Phüosophical lectures*, una de las estrategias más frecuentes de divulgación científica, junto a los numerosos artículos que publicará, entre otros, en la revista *Gentleman's Diary*, cuyos contenidos abarcarán temas de matemáticas, meteorología, usos del caucho, las diversas temperaturas del aire o las causas de la niebla, entre otros. Por su parte, los contenidos de sus conferencias públicas destacarán temas de química, mecánica, hidrostática, fluidos, gravedad, así como distintos procesos biológicos, como la respiración, la putrefacción o la combustión. Por esta actividad de divulgación, Dalton cobraba una pequeña suma de dinero, extendiendo gradualmente su ámbito geográfico hasta Manchester, donde el 31 de octubre de 1794 leyó el informe *Hechos extraordinarios relacionados con la visión de los colores, con las observaciones* ante la Literary and Phüosophical Society, en el que explicaba su análisis detallado del síndrome que pronto llegará a conocerse a partir del siglo XIX como daltonismo³⁶ (nombre que aún se utiliza en muchos lugares del mundo). Será en el mismo Manchester donde desarrollará su principal labor de divulgación de la disciplina que lo hará conocido en la historia de la ciencia: la química. Con este propósito, Dalton imparte clases para completar su modesto salario, basándose en dos textos que influirán fuertemente en el desarrollo de su Teoría Atómica: *Elementos de química, de Lavoisier*, y *Química de Chaptal*.

5. Incertidumbres y "evidencias": un nuevo modelo atómico

La primera conferencia sobre temas de química que impartió está fechada, según sus historiadores, en Kendal, en 1791. Para entonces, Lavoisier (1770, 1775) ha leído ante la Academia de Ciencias de París una memoria sobre la naturaleza del agua y la imposibilidad de convertirse en tierra, ha rechazado la teoría del flogisto y ha generalizado la ley de conservación de la masa. Por su parte, los químicos ingleses han desarrollado la química neumática, impulsándose así la química cuantitativa a la que Dalton se dedicará preferentemente. En Alemania, los químicos guiados por Wenzel (1740-1793) analizan la composición de varias sales, cuyos datos finalmente son tabulados y organizados expresándose las cantidades de ácido, base y agua utilizada en la formación de cada una de ellas. Sin embargo, estos datos no resultaban de gran exactitud debidos fundamentalmente a la carencia de instrumentos de precisión en

³⁴ Estilo de vida basado en la austeridad, el trabajo comunitario, la solidaridad y la superación personal que marcará el resto de la vida de J. Dalton. Para más detalles ver el trabajo de Pellón, I (2003).

³⁵ Al trasladarse a Kendal, la ciudad cuenta con cinco mil habitantes y una vida intelectual bastante más estimulante que la de Eaglesfield, donde Dalton había pasado los primeros años de su vida.

³⁶ Esta alteración visual que padecen estadísticamente más hombres que mujeres no se identificó y caracterizó completamente hasta fines del siglo XVIII. En la oportunidad mencionada, Dalton explica esta ceguera al color de manera muy sencilla pero incorrecta.

aquella época. Por su parte Benjamin Richter (1762 – 1807) en 1792 con su tesis doctoral pretendía introducir las matemática a la química, surgiendo de esta manera la *estequiometria* cuyo el propósito era medir las proporciones cuantitativas de los elementos químicos que interactuaban en las reacciones químicas, es decir, que buscaba las relaciones aritméticas de la química (Brock, 1998).

En 1792, a pocos años de la instauración de la República de Francia, Dalton continúa investigando sobre el comportamiento de los gases, desarrollando la idea de que la tendencia de los fluidos elásticos a través de otros se produce básicamente debido a una supuesta repulsión entre dichas partículas al existir una atmósfera de calor diferente alrededor de cada fluido. El interés de Dalton, según Pellón (2003), en la solubilidad de los gases no está en "el proceso químico", sino en el mecanismo por el que los gases se disuelven, para lo cual su idea es calcular los pesos relativos de las *partículas últimas* de los distintos gases. Después de múltiples ensayos y anotaciones que irá rectificando y completando en el desarrollo de sus ideas, en su cuaderno³⁷ de notas de 1803 escribe, entre otras, las siguientes ideas:

- i. *La materia está formada por pequeñas partículas últimas o átomos*³⁸.
- ii. *Los átomos son indivisibles y no pueden ser creados ni destruidos.*
- iii. *Los átomos de diferentes elementos tienen distintas masas.*
- iv. *Todos los átomos de un elemento dado son idénticos y tienen la misma masa invariable.*
- v. *Ha masa de la partícula de un compuesto es la suma de sus átomos constituyentes.*
- vi. *La partícula de un compuesto está formada por un número fijo de átomos.*

Las afirmaciones anteriores son completadas por Dalton en septiembre y octubre de 1803 y no se modificarán más en sus ensayos y conferencias posteriores.

Vemos entonces que la teoría atómica propuesta inicialmente por John Dalton en 1803 y paulatinamente comunicada y resignificada a través de sus diferentes conferencias públicas y ensayos puede considerarse un desarrollo natural de los estudios sobre gases y el trabajo en análisis químico cuantitativo realizado en el período de transición del siglo XVIII al XIX. Como plantea Aragón (2004), esta teoría era la única posible para explicar las relaciones entre las reacciones químicas con los instrumentos y técnicas experimentales disponibles, pero originó problemas de interpretación en la comunidad de científicos en relación con la determinación de los pesos atómicos debido a que las fórmulas eran, por lo general, muy indeterminadas, como se puede hacer notar en el caso del agua. Tales relaciones con la comparación de las densidades y ley de los volúmenes reaccionantes de Guy Lussac (1778-1850) pudieron ser muy útiles, pero con frecuencia eran mal interpretadas y, como consecuencia, rechazadas por las diferentes *audiencias*.

Por la misma época, el científico italiano Amadeo Avogadro (1776-1856) y André Marie Ampère (1775-1836) mostraban cómo las relaciones de los volúmenes

³⁷ Muchos de los cuadernos de notas e instrumentos de Dalton se perdieron durante el bombardeo a Manchester por las tropas nazis la noche del 23 al 24 de diciembre de 1940.

³⁸ Palabra que utiliza por primera vez, puesto que en su ensayo y conferencia de 1802 habló de "partículas últimas".

gaseosos podían ser interpretadas de forma correcta, pero fracasaron al intentar convencer a líderes de la naciente química moderna, tales como el "gran" Berzelius (1779-1848), Dalton y Davy (1778-1829). Berzelius, al igual que Davy inspirado en la obra de Volta (1745-1827), reconoció la importancia de la Teoría Atómica de Dalton más que cualquier otro químico. Sus estudios analíticos y de gran "rigor científico para la época" sobre los pesos de los elementos que se combinan para formar compuestos eran muy sólidos y a partir de ellos obtenía los pesos atómicos de los elementos con aceptable éxito. Su sistema de sistematización de los símbolos de los elementos era potente y constituye la base de los símbolos modernos de la química³⁹. Aunque llegó a ser una gran autoridad en la química de su tiempo, con frecuencia era ambiguo y confundía a sus "públicos". Durante varias décadas, la Teoría Atómica de John Dalton no fue suficientemente clarificada como para llegar a un concepto unificador de la química. Por aquella época otro insigne científico británico, William Proust (1785-1850), basándose en la obra de Dalton, sugirió que los pesos atómicos de todos los elementos eran múltiplos exactos del peso atómico de hidrógeno, con lo cual implicaba que los elementos más pesados que el hidrógeno podían estar formados por este elemento, lo cual puede ser objeto de otro análisis histórico.

6. Algunas reflexiones finales para el debate didáctico

En este apartado nos referimos específicamente a dos tipos de consecuencias como estrategia de divulgación de la ciencia en el siglo XIX: (i) aquellas vinculadas a la historia de la química, así como (ii) las que se orientan a la enseñanza y comunicación del modelo atómico de John Dalton. Finalmente, incorporamos algunas contribuciones de la historia de la ciencia a la divulgación y a la enseñanza, desarrollando brevemente cada una de ellas:

• Consecuencias para la historia de la química

A pesar de la aparente modernidad y de la trascendencia del modelo atómico de Dalton, éste no consiguió conquistar a la comunidad de químicos a finales de la primera década del siglo XIX. A muchos científicos les resultaba difícil, de acuerdo con sus preconcepciones filosóficas, aceptar la idea de los átomos. Más aún, muchos de ellos utilizaron *el modelo* como una técnica heurística que podía usarse para averiguar el modo en que se comportaban los elementos. Hubo que esperar casi cincuenta años para que el átomo de Dalton fuera aceptado por la comunidad científica como un concepto característico que daba identidad y pertenencia a los químicos. En efecto, sólo en los inicios del siglo XX (casi cien años después de la propuesta de Dalton) se pudo demostrar definitivamente su existencia. Nuestro héroe cuáquero fue colmado de honores, convirtiéndose en miembro de la Royal Society en 1822 e incorporándose a la Academia Francesa de las Ciencias, en el selecto grupo de ocho extranjeros de la época en esta institución. Falleció el 24 de julio de 1844 y su funeral tuvo el reconocimiento de una audiencia que valoró su estilo de vida austero y consecuente, lo cual sería alterado –y seguramente desaprobado por él– en el último

³⁹Berzelius llevó a cabo una serie de experimentos para medir las proporciones en que se combinaban los distintos elementos entre sí y, en 1816, había llegado a estudiar 2.000 compuestos diferentes (Gribbin, 2005, pp. 306).

día de su vida: más de cien carruajes sobriamente engalanados en un sublime silencio fueron testigos del aprecio y admiración del hombre que pesó los átomos (Pellón, 2004).

• Consecuencias para la Enseñanza y la Comunicación de las Ciencias

Según el historiador inglés A. C. Crombie⁴⁰, los historiadores racionalistas del siglo XVIII, guiados por el genio de Voltaire, negaban la posibilidad de una necesaria conexión entre la filosofía medieval y el llamado "triunfo de la razón científica"⁴¹, que situaban en la época de Galileo, Harvey, Descartes y Newton. Sin embargo, un siglo más tarde, Comte propondrá a sus seguidores la peligrosa fórmula de reclamar como precedentes de la ilustración positivista no lo que Galileo o Newton podían haber *afirmado* acerca de cuáles eran sus propósitos y métodos, sino lo que éstos debían haber sido *realmente*, aunque ellos quizá lo ignoraran en su época⁴². Este enfoque nos parece el más acertado y también el más difícil de comprender en la enseñanza, la formación docente y la divulgación científica y que hemos investigado en alguna oportunidad, utilizando para este propósito fuentes escritas e iconográficas de distinta naturaleza (Uribe & Quintanilla, 2005). Pensamos que nos da orientaciones *acerca de qué y cómo hemos de enseñar en determinados contextos educativos, suponiendo además que la química hoy la concebimos no desde una representación restrictiva, sino que conectada a valores, concepciones filosóficas, lenguajes, instrumentos y determinadas finalidades que le dan sentido de intervención y transformación del mundo y que podemos utilizar teóricamente como sustento didáctico en proyectos curriculares o libros de texto que recojan estas bases epistemológicas e históricas* (Cuellar, Gallego y Pérez, 2008; Solsona & Quintanilla, 2005; Quintanilla, 2006).

Nos parece que, las conferencias de John Dalton, como estrategia de divulgación científica de su teoría, fueron importantes para la química, particularmente en el siglo XIX, entre otras, por las siguientes razones:

- i. La posibilidad de comunicación de nuevo conocimiento a diversos públicos en un momento en que la química se consolidaba como una disciplina científica emergente.
- ii. Promover en los diferentes públicos de la época, doctos y profanos, una continua reflexión acerca de la actividad científica, favoreciendo un "discurso teórico-empírico" que se apropiaba de los contextos culturales en los que se divulgaba.
- iii. Promover en la comunidad de químicos el análisis, el diálogo y la resignificación sistemática de las teorías "en uso" en un momento en que se disponía de evidencias cada vez más convincentes acerca de la estructura de la materia.
- iv. Favorecer rápidamente el "feedback" entre los partidarios y detractores de determinadas interpretaciones y modelos teóricos vigentes en esa época.
- v. Permitir la enseñanza de la química en contextos no formales, con lo cual expertos y legos podían interactuar en un proceso de educación científica que formaba parte del cotidiano de la cultura local.

⁴⁰Historia de la Ciencia: De San Agustín a Galileo/ 1 Siglos V-XIII (Crombie, A., 2000) Alianza Editorial.

⁴¹El destacado es nuestro.

⁴²Ibidem, pp. 19.

- **Contribuciones de la historia de la ciencia a la divulgación y a la enseñanza**

Potenciando estas ideas para el ámbito de la ciencia escolar, es relevante la necesidad de valorar la incorporación de la historia de la química en los procesos de formación inicial y continua de profesores, puesto que permite, entre otros aspectos, relacionar los aspectos conceptuales y metodológicos en la modelización del conocimiento científico, identificando el vínculo de las acciones realizadas con el diseño, funcionalidad y mejoramiento de los instrumentos utilizados para 'solucionar el problema científico' en determinada época. Esta forma de trabajo permitiría identificar los vínculos existentes para interpretar fenómenos científicos que hoy comprendemos y explicamos mediante teorías actuales. Además, nos permitirá conocer el dinamismo del conocimiento científico en épocas determinadas, los desacuerdos provenientes de las comunidades científicas existentes, las dudas por las cuales atravesaban los científicos e inclusive analizar la influencia de los conflictos de género en la divulgación del conocimiento científico y en el desarrollo de una sociedad⁴³. Algunas de estas contribuciones serían las siguientes:

- Promover en los profesores en formación y en activo una reflexión rigurosa acerca de la actividad científica en la historia de la química y su vinculación con los procesos de divulgación, enseñanza, evaluación y aprendizaje, favoreciendo un "discurso valórico y cultural" para comprender la génesis contextualizada del conocimiento científico.
- Entregar a los profesores en formación y en activo una actualizada información disciplinaria y favorecer el desarrollo de materiales didácticos teóricamente fundamentados cuyo norte sea el análisis y la reflexión histórica acerca de la química y su construcción como campo de conocimiento dinámico.
- Reflexionar y vincular las "teorías científicas" con la historia de la química *divulgada formalmente* y sus consecuencias para la enseñanza, elaborando y evaluando el impacto de los materiales educativos apropiados críticamente en la clase de química.
- Comprender las complejas rutas de construcción del conocimiento químico en estas áreas y las consecuencias que esto ha traído para la divulgación, la enseñanza, la evaluación y el aprendizaje de las ciencias experimentales, desmitificando la imagen de una ciencia perfecta e infalible.

Para lograr que las contribuciones anteriores sean posibles en el marco de la divulgación y la enseñanza del modelo atómico de John Dalton, se pueden proponer "actividades científicas", cuya *modelización* esté debidamente fundamentada según

⁴³ Al respecto es interesante el análisis del sociólogo Pierre Bordieu en *La dominación masculina*, Anagrama (2000), y el libro *Mujeres científicas de todos los tiempos* (Solsona, 1997). Ed. Talasa, Barcelona.

los marcos teóricos que se han venido discutiendo en el presente capítulo, considerando:

- *Explicar historias contextualizadas*, que pueden ser utilizadas desde un punto de vista educativo-filosófico: para introducir conceptos científicos, para generar espacios de interés, para promover determinadas actitudes y valores hacia la ciencia, para relacionar conocimientos de diferentes áreas (química, física, historia, filosofía, economía), fundamentando así el carácter interdisciplinario de la docencia y divulgación científica.
- *Hacer dramatizaciones de situaciones históricas*, de debate, en las cuales el estudiantado pueda argumentar sus ideas. Por ejemplo, en el caso descrito, un grupo de la clase será partidario de las ideas de Dalton, en tanto que otro grupo defenderá las ideas de Demócrito.
- *Destacar los fenómenos estudiados a través de las prácticas experimentales*, la indagación de los experimentos llevados a cabo por los científicos se convierten en un recurso importante para la identificación de los fenómenos que estudiaban y que se convierten en un recurso para la formación de profesores.
- *Identificar y describir instrumentos antiguos mediante láminas o esquemas* obtenidos de reproducciones en revistas de divulgación, libros de texto o sitios en internet. Reflexionar acerca de los materiales con que fueron elaborados, cómo se divulgaron, qué aportaron, las ideas que suscitaban o las polémicas que atenuaban.
- *Analizar textos históricos* elaborados por los científicos como un recurso directo mediante el cual profesores en formación inicial o en activo podrían identificar los vínculos existentes entre la conceptualización y la experimentación, las preguntas que formulaban y los fenómenos que estudiaban (ver Capítulo 9 en este mismo libro).
- *Dar a conocer personajes históricos que muestren los aspectos humanos* de las ciencias y el conjunto de valores (individuales y sociales) en los cuales se desarrollan y que normalmente no aparecen o atenúan los libros de texto y revistas de divulgación. Por ejemplo, ¿siempre tuvieron recursos para investigar? Si no fue así, ¿cómo se las ingeniaron? ¿Qué problemas personales conspiraron para que sus estudios fueran enseñados o divulgados?
- *Mostrar situaciones históricas de crisis y duda* que hagan ver que el conocimiento científico no es un dogma ni una historia de buenos y malos científicos. Por ejemplo, los planteamientos de Guy Lussac acerca del atomismo ¿influyeron en la aceptación de la teoría de John Dalton? ¿De qué forma?

- *Promover el análisis de entramados o tejidos histórico-políticos, histórico-geográficos, histórico-sociales o histórico-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 después de 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?*
- *Contribuir a partir del estudio de la historia de la química en la formación de ciudadanos competentes con responsabilidad social, reconocimiento de las diferencias existentes entre los integrantes de las diferentes comunidades a las que pertenecen y las posibilidades que existen para intervenir.*

Las anteriores son algunas de las posibilidades que tenemos a nuestro alcance para ser utilizadas tanto en la formación de docentes como para ser direccionadas hacia la educación básica y media. El camino que se ha recorrido va dejando espacios y lugares que pueden servir para futuras investigaciones.

Agradecimientos

Henry Giovany Cabrera Castillo le agradece a Colciencias por la beca otorgada (Convocatoria 567 – Nacional) y a la Universidad del Valle por la comisión de estudio concedida en el marco del *Programa de Semillero Docente*.

Este capítulo sigue las orientaciones teóricas y metodológicas del **Proyecto COLCIENCIAS-CONICYT Folio: PCCI130073** y del **Proyecto de Movilidad Académica DRI-UC 024/14** que dirige el Dr. Mario Quintanilla Gatica.

Lista de referencias bibliográficas

- ARAGÓN, F. (2004). Historia de la Química. Editorial Síntesis, Madrid.
- BARONA (1994). Ciencia e Historia, Editorial SEC, Universidad de Valencia, España.
- BENNET, J. (1995). Can science museums take history seriously? Actes de les III Trobades d'història de la ciència i de la tècnica. Tarragona, España.
- BENSAUDE-VINCENT, B. (2000). L'opinion publique et la science. A chascan son ignorant. Intitut d'éditíon scenofi-synthélabo. París, 7-19.
- BOIDO, G., & LOMBARDI, O. (2012a). Las relaciones entre la historia y la filosofía de la ciencia (Primera parte). *Exactamente*, (49), 39.
- BOIDO, G., & LOMBARDI, O. (2012b). Las relaciones entre la historia y la filosofía de la ciencia (Segunda parte). *Exactamente*, (50), 17.
- BORDIEU, P. (2000). La dominación masculina. Anagrama, Barcelona.
- BORDIEU, P. (2003). El Oficio del Científico. Anagrama, Barcelona.
- BROCK, W. (1998). Historia de la química. Madrid: Alianza Editorial.
- CANDELA, A. (1999). Ciencia en el aula: Los alumnos entre la argumentación y el consenso. México, Buenos Aires, Barcelona: Paidós.

- CHALMERS (1993). ¿Qué es esa cosa llamada ciencia?, Madrid, Siglo 21 Eds.
- CHALMERS (1992). La ciencia y cómo se elabora. Madrid, Siglo 21 Eds.
- CROMBIE, A. (2000). Historia de la Ciencia: De San Agustín a Galileo/1 Siglos V-XIII. Alianza Editorial.
- CUÉLLAR, L; GALLEGO, R. & PEREZ, R. (2008). El modelo atómico de E. Rutherford. Del saber científico al conocimiento escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(1), 43–52.
- CUELLAR, L., QUINTANILLA Y MARZÀBAL, A. (2010) La importancia de la historia de la química en la enseñanza escolar. Análisis del pensamiento y elaboración de material didáctico de profesores en formación. *Ciência & Educação*. 16 (2), 277-293.
- DERRY, T. & WILLIAMS, T. (1960). Historia de la Tecnología. Siglo XXI. Editores.
- DÍAZ, J. (2001). El gran cambio en la física. Faraday. Nivela Ediciones, Madrid
- ECHEVERRÍA (1995). Filosofía de la Ciencia. Madrid, Akal.
- ETCHEVERRÍA, J. (2002). Ciencia y valores. Ed. Destino, Barcelona.
- ESTANY, A. (1993). Introducción a la filosofía de la ciencia. Barcelona: Crítica.
- GALLEGO, R., PÉREZ, R., GALLEGO, T. DE, & TORRES, L. N. (2004). Formación inicial de profesores de ciencias en Colombia: un estudio a partir de programas acreditados. *Ciência & Educação*, 10(2), 219–234.
- GARCÍA, 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, A. & QUINTANILLA, M. (2005). Historia de la ciencia y formación docente. Algunos elementos para el debate didáctico. Actas de las IV Jornadas Internacionales para la enseñanza preuniversitaria y universitaria de la Química. Universidad Autónoma de México, D.E
- GIERE, R. (1992). What the cognitive study of science is not? In: *Cognitive Models of Science*. Ed. R. Giere. 481-484.
- GIERE, R. (1994). The cognitive structure of scientific theories, *Philosophy of Science*, 61, 276-296.
- GRIBBIN, J. (2005). Historia de la ciencia. Editorial Crítica, Barcelona.
- HACKMANN, W. (1985). Instrumentation in the theory and practice of science: scientific instruments as evidence and as aid to discovery. *Annali deiristituto e museo di Storia della Scienza di Firenze*, 10, 87-115.
- HILGARTNER, S. (1990). The dominant view of popularisation: conceptual problems, political issues. *Social Studies of Science*, 20, 519-539.
- IZQUIERDO, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. Cap. 2. 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, Madrid.
- IZQUIERDO, M. (1994). Algunes reflexions sobre el llenguatge simbòlic químic. "El somni de Lavoisier", XII Jornadas de Historia y Filosofía de la Ciencia. Vigo.
- IZQUIERDO, M. (1995). La función de las fórmulas en la formación y divulgación del conocimiento científico. X Jornadas de Historia y Filosofía de la Ciencia. Vigo, Galicia.

- IZQUIERDO, M., Quintanilla, M., Vallverdú, J., & Merino, C. (2007). Una nueva reflexión sobre la historia y filosofía de las ciencias y la enseñanza de las ciencias. In M. Quintanilla (Ed.), *Historia de la ciencia. Aportes para la formación del profesorado. Vol. I* (pp. 13–36). Santiago de Chile: Editorial Conocimiento S.A.
- IZQUIERDO, M. & ADÚRIZ-BRAVO, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science & Education*. 12:27-43.
- LABARRERE, A. & QUINTANILLA, M. (2006). La evaluación de los profesores de ciencia desde la profesionalidad emergente. En: *Enseñar ciencias en el nuevo milenio: retos y propuestas*. Cap. 1. Ediciones PUC. Santiago de Chile.
- LABARRERE, A. & QUINTANILLA, M. (2001). La solución de problemas científicos en el aula. Reflexiones desde los planos de análisis y desarrollo. *Revista Pensamiento Educativo*. Ediciones PUC, Vol. 30, 121-138.
- LAVOISIER, A. (1770). Acerca de la naturaleza del agua y las experiencias por las cuales se ha pretendido probar la posibilidad de su cambio en tierra. In J. Muñoz, L. Leloir, & E. Braun (Eds.), *Memorias sobre el oxígeno, el calórico y la respiración* (pp. 13 – 56). Buenos Aires: EMECÉ.
- LAVOISIER, A. (1775). Memoria sobre la naturaleza del principio que se combina con los metales durante la calcinación y que causa el aumento de su peso. In J. Muñoz, L. Leloir, & E. Braun (Eds.), *Memorias sobre el oxígeno, el calórico y la respiración* (pp. 81 – 90). Buenos Aires: EMECÉ.
- LEMKE, J. L. (1990). *Talking Science: Language, learning and values*. New Jersey: Ablex Publishing Corp.
- LIRES, M., ÑUÑO, T. y SOLSONA, N. (2004). *Las científicas y su historia en el aula*. Madrid: Síntesis. Materiales didácticos susceptibles de ser utilizados en aulas de todos los niveles educativos y en formación del profesorado.
- MARANTZ, E. (2000). *El monje en el huerto*. Editorial Debate. Madrid.
- MERINO, C. & QUINTANILLA, M. (2005). Propuesta de un instrumento de evaluación para establecer criterios sobre uso de la historia de la ciencia en la enseñanza. *Actas del VII Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias*. Granada, España.
- MERINO, C. (2009). Aportes a la caracterización del “Modelo Cambio Químico Escolar.” Universidad Autónoma de Barcelona.
- NIETO, A. (2005). ¿Qué ciencia y para qué públicos?: algunas reflexiones en torno al problema de la popularización, siglos XVIII-XX. Documento de trabajo. Curso Los Públicos de la Ciencia. UAB. P. 4.
- PELLÓN, I. (2003). *Dalton, el hombre que pesó los átomos*. Editorial Nivola, Madrid.
- QUINTANILLA, M. (2006). Los textos de ciencias naturales frente a los desafíos de una nueva cultura docente. *Actas del Seminario Internacional de Libros de Texto*, MINEDUC. Santiago de Chile.
- QUINTANILLA (2006 b). Identificación, caracterización y evaluación de competencias científicas desde una imagen naturalizada de la ciencia. En: *Enseñar ciencias en el nuevo milenio: retos y propuestas*. Cap.1. Ediciones PUC. Santiago de Chile.

- QUINTANILLA, M. (2005). Historia de la ciencia y formación docente: una necesidad irreducible. *Revista TED de la Universidad Pedagógica Nacional de Bogotá* (número extra) 34-43.
- QUINTANILLA, M. (2002) La narración de los experimentos y el lenguaje de los estudiantes. *Revista Visiones Científicas* Vol. 5 N° 2, pp. 41-56. ISSN N° 716.
- QUINTANILLA, M. (1999). El dilema epistemológico y didáctico del curriculum de la enseñanza de las ciencias: ¿Cómo abordarlo en un enfoque CTS? *Rev. Pensamiento Educativo* N° 25, pp. 299-334. ISSN0717-1013. Santiago, Chile.
- QUINTANILLA, M.; IZQUIERDO, M. & ADÚRIZ-BRAVO, A. (2005). Characteristics and methodological discussion about a theoretical model that introduces the history of science at an early stage of the experimental science teachers' professional formation. *Proceedings of IHPST international conference of history and philosophy of science and science teaching*. University of Leeds, England.
- QUINTANILLA, M. (2007). La enseñanza del modelo atómico de John Dalton desde una visión naturalizada de la historia de la química. In *Historia de la ciencia. Propuesta para su divulgación y enseñanza. Vol. II* (pp. 67–87). Santiago de Chile: Editorial Conocimiento S.A.
- QUINTANILLA, M., Saffer, G., Izquierdo, M., & Adúriz-Bravo, A. (2007). Nicolás Copérnico desde una propuesta realista pragmática de la historia ciencia. In *Historia de la ciencia. Propuesta para su divulgación y enseñanza. Vol. II* (pp. 47–67). Santiago de Chile: Editorial Conocimiento S.A.
- SAFFER, G. & QUINTANILLA, M. (2004). Aportes para un debate sobre la historia de la física en la enseñanza: las leyes de Kepler. *Actas del VIII Congreso Iberoamericano de Enseñanza de las Ciencias Experimentales*. Ciudad de Guatemala.
- SAMSÓ, J. (1991). *Ciencias de los Antiguos en al-Andalus*. Mapire, Madrid, 1992.
- SANMARTÍ, N. (2002). Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria (p. 382). Madrid: Síntesis Educación.
- SHAPIN, S. & BARNES, B. (1977). Science, nature and control: interpreting Mechanics Institutes. *Social Studies of Science*, Vol. 7, 31-74.
- SOLAR, H. & QUINTANILLA, M. (2005). Algunas reflexiones para considerar la historia de la matemática en la formación inicial y continua del profesorado. *Actas de las II Jornada sobre la Historia de Ciencia i l'Ensenyament*. Societat Catalán d'Història de la Ciència, Barcelona.
- SOLSONA, N.; QUINTANILLA, M. (2005). Reflexions i propostes per al debat educatiu-didàctic entom a la historia de la ciencia. *Actas de las II Jornada sobre la Historia de Ciencia i l'Ensenyament*. Societat Catalán d'Història de la Ciència, Barcelona.
- SOLSONA, N. (1997). *Mujeres científicas de todos los tiempos*. Ed.Talasa, Barcelona.
- URIBE, M. & QUINTANILLA, M. (2005). Aplicación del modelo de Toulmin a la evolución del concepto de sangre en la historia de la ciencia. *Perspectivas didácticas*. *Actas del VII Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias*. Granada, España.
- WITTGENSTEIN, L. (1953). *Philosophical Investigations*, ed. De G.E.M. Anscombe y R. Rhes. Oxford, Blackwell.

Capítulo 11

Aspectos histórico-filosóficos del concepto de “elemento”. Aportes para la formación inicial y continua de profesores de ciencias

Martín Labarca.

CONICET – Universidad Nacional de Quilmes

Argentina

Alfio Zambon.

Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco

Argentina

Mario Quintanilla.

Pontificia Universidad Católica de Chile

Chile

Índice

1. Introducción
 2. Las primeras ideas presocráticas
 3. Los cuatro elementos, el atomismo, Platón y Aristóteles
 4. El atomismo de Epicuro
 5. Entre el Renacimiento y Lavoisier
 6. Dalton y su aporte a la teoría atómica
 7. Mendeleev y la naturaleza dual del concepto de elemento
 8. Paneth y la distinción conceptual entre sustancia básica y sustancia simple
 9. Las discusiones actuales
 10. Conclusiones
- Lista de referencias bibliográficas*

1. Introducción

Las nociones de átomo, elemento y sustancia son centrales en lo que podríamos llamar metafóricamente el “edificio teórico” de la química, y están profundamente relacionadas entre sí. Sin embargo, en el contexto habitual de la práctica científica, normativamente son consideradas de manera superficial y ahistórica. La noción de “sustancia” en el campo de la química abarca tanto a las sustancias elementales como a las compuestas. A las primeras se las denomina *elementos*, y a las segundas, *compuestos*.

En particular, las discusiones concernientes a la naturaleza de los elementos se han instalado en la dinámica de la discusión metateórica en los últimos años con nuevos aportes de historiadores, químicos y filósofos de la química. La pregunta ¿qué es un elemento? nos revela desde el comienzo la complejidad del problema dada la diversidad y polisemia existente. No resulta sorprendente entonces que la noción de elemento haya sido extensamente discutida desde los albores de la filosofía griega, y sea hoy el centro de importantes debates en el ámbito de la filosofía moderna de la química. El propósito de este capítulo es indagar en la historia y la filosofía de la ciencia para mostrar las diferentes ideas que contribuyeron al surgimiento y desarrollo del concepto de “elemento”. Nuestra idea es contribuir con directrices teóricas inacabadas al debate histórico, didáctico y filosófico sobre la enseñanza de la química. El capítulo se distribuye en nueve ejes temáticos que intentan dar consistencia al análisis y reflexión de la que hace parte esta propuesta.

2. Las primeras ideas presocráticas

El concepto de “elemento” puede comprenderse en diversos sentidos de acuerdo al sistema filosófico que lo aborda. En la filosofía tradicional india se distinguen cuatro elementos o *bhutas* (tierra, agua, fuego y aire), y a veces cinco (los cuatro citados más el éter). Los chinos han hablado de cinco elementos (tierra, agua, fuego, madera y metal); los tres primeros parecen ser más fundamentales y son los introducidos en algunos escritos antiguos. Ahora bien, ¿cómo lo ha abordado la filosofía occidental?

Las primeras reflexiones acerca de la naturaleza aparecen en la filosofía jónica en el siglo V a.C. En el problema central de la filosofía presocrática –la cuestión del *arkhé*, es decir, el principio de todas las cosas– se delinean así diversas direcciones en la sistemática búsqueda de las posibles respuestas. Una primera tentativa de solución aparece en la pareja conceptual de materia y forma. En la materia ven el fundamento primero los milesios: Tales, Anaximandro y Anaxímenes.

Se considera históricamente que con Tales (hacia 625–547 a.C.) comenzó el llamado período de la filosofía de la *physis*, término que significa “naturaleza” en el sentido originario de realidad primera y fundamental. Es decir, aquello que resulta primario y persistente, en oposición a lo que es secundario, derivado y transitorio (Reale y Antisiere, 1998). Tales de Mileto fue el primero en afirmar la existencia de un único principio originario de todas las cosas: el agua. Buscó interpretar la naturaleza del mundo en la unificación de todos los procesos materiales a partir de este llamado “principio natural”. Según Aristóteles, un principio en Tales es aquello de lo cual todo proviene, en lo que todo termina, de lo cual todo es, y en lo cual todo subsiste. Es una realidad que permanece idéntica durante la transmutación de sus afecciones. De esa manera, un principio es la fuente, el origen, término último, y respaldo permanente de todo (Reale y Antisieri, 1998). Anaximandro (hacia 610–547 a.C.), uno de los discípulos de Tales, sustituyó el agua como “principio” por una idea más abstracta: el *ápeiron*, que denota aquello que carece de límites, tanto externos como internos, siendo precisamente *el carecer de límites* lo que le permite al principio *ápeiron* dar

origen a todas las cosas. Otro discípulo de Tales, Anaxímenes (hacia 590–524 a.C.), propuso como principio universal el aire, asignándole las propiedades del *ápeiron* (infinitud y movimiento perpetuo). Anaxímenes consideraba que el aire era la fuerza que anima al mundo. Le atribuyó la naturaleza del cambio a una combinación de fenómenos de condensación y rarefacción “mediados” por el aire. De esta manera, introdujo una causa dinámica, posición que estaba en armonía con la filosofía de la *physis*.

Un importante cambio quedaba por considerar: el cambio que ocurre en la materia y en la forma, la modificación o devenir. De acuerdo con Heráclito de Éfeso (hacia 544–484 a.C.), el devenir es un principio todavía más básico que la materia y la forma. Los milesios habían advertido el dinamismo de todo lo existente, y consideraron que debía ser un rasgo fundamental del principio que genera y rige todas las cosas. El punto de partida de Heráclito es la comprobación del incesante devenir de las cosas, el mundo como un flujo perpetuo. Identificó al fuego como el principio de la naturaleza, ya que explica el incesante devenir del mundo con su propia y extrema movilidad. En su doctrina el fuego pierde todo su carácter corpóreo: es un principio activo, inteligente y creador (Abbagnano, 1978).

3. Los cuatro elementos, el atomismo, Platón y Aristóteles

Empédocles de Agrigento (hacia 490–432 a.C.) formuló la doctrina de los cuatro elementos. Esta doctrina rechazaba la idea de un único principio generador de todas las cosas, proponiendo en su lugar cuatro elementos primigenios o básicos: fuego, aire, agua y tierra. Estos elementos parecen estar “organizados” en forma ascendente, con la tierra en la base y, sobre ella, sucesivamente, el agua, el aire y el fuego. Todos serían duraderos, pero podían mezclarse en diferentes proporciones y formar, de esa manera, las sustancias complejas y cambiantes que se encuentran en el mundo. Empédocles postuló también que dos fuerzas antagónicas (la afinidad o el amor, y la repulsión o la lucha) gobernaban las combinaciones y descomposiciones entre los cuatro elementos, a las que asignó el papel de constituyentes últimos de todo lo perceptible. Cada uno de los principios se compone, a su vez, de dos pares de cualidades primarias: calor y frío, humedad y sequedad. Según esta doctrina, los cuatro principios en un estado simple eran parte del desorden primitivo del mundo, mientras que en el cosmos ordenado los principios constitutivos sólo pueden aparecer combinados.

El antropomorfismo, presente todavía en Empédocles, es totalmente superado y sustituido por un puro mecanicismo, que a la vez es puro materialismo: la *doctrina atómica*, propuesta por Leucipo y desarrollada por su principal discípulo Demócrito de Abdera (hacia 460–370 a.C.). Sus principios son los átomos: corpúsculos diminutos, últimos, eternos, indivisibles, todos de la misma cualidad, aunque difieren en su magnitud y en su forma. Como conceptos accesorios, Demócrito sólo utilizó el “espacio vacío” y el movimiento eterno. Según este pensador, los átomos caen desde la eternidad en el espacio vacío, y todo lo que existe se compone de ellos. Por tanto, para nuestra percepción sensible las cosas son ciertamente diferentes en figura, forma,

color, etc., pero en sí mismas (*physei* = por su naturaleza) se componen únicamente de átomos. De este modo, dividir un cuerpo significa, en última instancia, poder separarlo hasta llegar a los átomos que lo componen. Las diferencias cualitativas entre los elementos desaparecen en esta doctrina. Así, las cualidades materiales quedan reducidas a procesos puramente mecánicos de movimientos de corpúsculos de una única clase.

Platón (hacia 427–347 a.C.) incorporó en su sistema filosófico la doctrina de los cuatro elementos. Desde su perspectiva, la naturaleza de los cuatro elementos se puede explicar mediante la “doctrina de los triángulos”, que fuera desarrollada en el *Timeo*. Platón consideraba que los cuatro elementos están relacionados con los poliedros regulares o “sólidos platónicos”. Los triángulos como figuras bidimensionales son incorpóreos. Pero si se los combina adecuadamente pueden formar cuerpos tridimensionales. De esta manera, Platón asimiló la doctrina de los cuatro elementos (tierra, agua, aire y fuego), otorgándole a cada uno de ellos un sustrato geométrico. Al tetraedro le asignó el principio fuego, al icosaedro el principio agua, el octaedro representa al aire y, por último, el hexaedro simbolizaba a la tierra. Todos los sólidos platónicos pueden ser reducidos a triángulos; por lo tanto, según esta doctrina las sustancias se transforman por una especie de “reordenamiento de triángulos”. De este modo, entonces, Platón explicó el cambio con la doctrina de los cuatro elementos, pero asignándole un componente geométrico (Abbagnano, 1978).

Aristóteles (hacia 384–322 a.C.) fue un agudo crítico de Demócrito. A él se debe la primera y precisa elaboración del concepto de materia (“*hyle*”). Sin embargo, algunos autores señalan que esto no encuentra una adecuada apreciación en la historia de la química, ya que sólo se lo “acusa” de haber caído en la antigua doctrina de los cuatro elementos (Ströker, 1968). Los problemas de la materia y el cambio material encuentran su lugar en la filosofía aristotélica. A diferencia del atomismo de Demócrito, Aristóteles rescató las cualidades materiales acorde a la realidad experimentada o tangible. Fue también el primero en ver claramente la distinción entre una *mezcla* (“*synthesis*”) y lo que sería más tarde denominado un *compuesto químico* (“*mixis*”). Es precisamente en este punto, según Aristóteles, donde el atomismo falla: no puede dar cuenta de que las cualidades del nuevo material compuesto (“*mixis*”) no son la sumatoria de las cualidades de los materiales originales. Según su visión, los elementos originales se transforman en un compuesto mediante el efecto de *henosis* (“unificación”). Por tanto, Aristóteles asumió que en el compuesto los materiales originales no pueden permanecer inalterados, ya que, de ser así, el compuesto no sería más que una ilusión macroscópica. Quedaba planteada, así, la cuestión del *cambio químico* (Ströker, 1968).

Asimismo, Aristóteles era consciente de que las sustancias originales que luego formarían el compuesto podían recuperarse; por ende, estas sustancias no se pierden ni se destruyen. Sin embargo, la posibilidad de descomponer un compuesto en sus partes originales parecía sugerir precisamente lo opuesto: las cualidades del nuevo compuesto de algún modo “contienen” las cualidades de los materiales originales. Aristóteles intentó superar así esta dificultad señalando que debe concederse que, en la

mixis, una materia completamente nueva se forma de los materiales originales; sin embargo, los componentes están presentes “potencialmente” también en el compuesto. Por otra parte, un nuevo problema surgió: ¿puede conceptualizarse la *mixis* como materia que “consiste de” otros materiales? Aristóteles lo abordó en el marco del lenguaje ordinario. En dicho lenguaje se asume que un compuesto debe su existencia a los mismos materiales de los cuales consiste. En el mismo sentido, un químico actual aún afirma que el ácido clorhídrico “consiste de” cloro e hidrógeno, encontrando útil esta forma de expresarlo.

El antiguo problema aristotélico acerca de la interpretación de la formación de compuestos químicos a partir de sus elementos, y la posibilidad de analizar los primeros en función de estos últimos, se tornó insalvable para el corpuscularismo | al no poder distinguir entre estas dos categorías de materia: la correspondiente a los elementos y la asociada con los compuestos. Esta distinción planteada por Aristóteles dio lugar al problema de la divisibilidad de la materia. Parecería existir una diferencia *cualitativa* entre las más pequeñas partículas de un material dado (“*minima naturalia*”) y las de otro. Este supuesto desempeñó un importante papel en la Edad Media. Fue el terreno sobre el cual se discutió acerca del problema de la naturaleza de los componentes cuando forman un compuesto. En la noción aristotélica de *minima naturalia* es posible reconocer la distinción actual entre *átomo* y *molécula*, sin lugar en el atomismo griego.

Finalmente, el sistema filosófico de Aristóteles, al igual que Platón, incorporó la doctrina de los cuatro elementos. Aristóteles consideraba que existe una única materia primera, la cual recibe su apariencia perceptible por las cuatro cualidades (caliente, frío, húmedo y seco), las que se combinan de dos en dos para dar lugar a los cuatro elementos. Cada elemento tiene una cualidad común y otra distinta respecto de los otros, lo que hace posible la transformación de un elemento en otro de una manera cíclica (Reale y Antiseri, 1998).

Los elementos, a su vez, se reúnen en proporciones variadas y generan las diferentes sustancias presentes en la naturaleza. En esta concepción, los elementos no pueden ser aislados o extraídos de los compuestos, sino que son principios portadores de cualidades. El agregado o la substracción de alguna cualidad a un elemento implican necesariamente su transformación en otro elemento. De acuerdo con Abbagnano (2008), Aristóteles fue el primero en postular una elucidación exhaustiva del concepto de elemento: “*Por elemento se entiende el primer componente de una cosa cualquiera, en cuanto sea de una especie irreducible a una especie diferente, y en tal sentido los elementos de las palabras (o sea las letras), por ejemplo, son los elementos de los que consisten las palabras, y en los cuales se dividen por último, porque no pueden a su vez dividirse en partes de especies diferentes. Si se divide un elemento, sus partes son de la misma especie y así, por ejemplo, una parte de agua es agua, en tanto que la parte de una sílaba no es la sílaba*” (Abbagnano, 2008, p.349).

4. El atomismo de Epicuro

Epicuro (hacia 341–270 a.C.) retoma la ontología⁴⁴ atomista propuesta por Leucipo y Demócrito para expresar los fundamentos de una visión materialista de la naturaleza. La propuesta epicúrea puede expresarse en cuatro principios: 1) “Nada nace del no ser” y “nada se disuelve en la nada”. De esta manera, considera que la naturaleza, en su totalidad, siempre ha sido y siempre será igual; 2) El *todo* está determinado por los cuerpos materiales y el vacío. Los sentidos muestran la existencia de los cuerpos y captan la posibilidad del movimiento. Para explicar el movimiento, es necesario que exista el espacio vacío, que le permita desplazarse a los cuerpos; 3) La realidad es infinita en su totalidad. Para que la totalidad pueda ser infinita, es necesario que también sus partes constitutivas sean infinitas. Por lo tanto deberán de ser infinitas, tanto la multitud de los cuerpos como la extensión del vacío; 4) Entre los cuerpos se encuentran aquellos simples e indivisibles (los átomos) y los cuerpos compuestos, estando estos últimos formados por agregados de átomos.

La noción de átomo para Epicuro es diferente a la sostenida por el atomismo presocrático. Una de las diferencias consiste en que Epicuro le asignó peso a los átomos (además de figura y tamaño); otra diferencia es la llamada *teoría de los mínimos*, que planteaba la existencia de átomos de diferentes tamaños, lo cual implicaba partes ontológicamente indivisibles, sólo distinguibles desde un punto de vista lógico. También difería en la concepción del movimiento: a diferencia de la idea que consideraba que los átomos se movían en todas las direcciones, Epicuro postuló la existencia de un movimiento de caída hacia “abajo”, debido al peso de los átomos. Para explicar por qué los átomos no caen en trayectorias paralelas hasta el infinito, postuló la teoría de la declinación de los átomos (*clinamen*), según la cual los átomos pueden desviarse en cualquier momento y en cualquier punto respecto de la línea recta (Reale y Antisiere, 1998).

5. Entre el Renacimiento y Lavoisier

5.1 La Iatroquímica

Entre los siglos XV y XVI se desarrolló en Europa Occidental un amplio movimiento cultural conocido como “Renacimiento”. En este contexto encontramos el surgimiento de la iatroquímica. Su fundador fue Paracelso (1493–1541), quien introdujo nuevas ideas acerca de la materia, sostuvo la doctrina de los cuatro elementos aristotélicos, pero los despojó de su carácter de portadores de propiedades, carácter que le otorgó a una materia primera, el *misterium magnum*, de la cual procedían los cuatro elementos. Paracelso introdujo los tres elementos alquímicos: azufre, mercurio y sal. De esta manera propuso la llamada doctrina de los *tria prima* o tres principios. Otro precursor de la iatroquímica durante la misma época fue Joan Baptista van Helmont (1577–1644), que elaboró una doctrina alternativa de la materia claramente diferenciada de los principios de Paracelso. En su doctrina, el mundo material surge mediante una combinación entre una materia original o sustrato de los

⁴⁴ Ontología es el capítulo de la filosofía (metafísica, en particular) que estudia la realidad, su estructura y las entidades existentes en ella.

cuerpos con el fermento primitivo (que sería el principio organizador activo). Para van Helmont, la materia estaba compuesta por dos sustancias fundamentales: agua y aire. El aire era el medio físico independiente, mientras que el agua era la sustancia que intervenía activamente en la trasmutación de la materia, transformándose en todas las sustancias existentes en la naturaleza (Brock, 1998).

5.2 Pierre Gassendi

En el siglo XVII el filósofo y matemático francés Pierre Gassendi (1592–1655) rescató textos del antiguo atomismo griego e intentó conciliar las ideas de Epicuro con los dogmas cristianos. Del atomismo griego omitió el materialismo, que excluye a la creación divina, y el mecanicismo, que niega la finalidad de la naturaleza, pero conservó lo esencial: las nociones de átomo y de vacío. En esta propuesta, los átomos (indivisibles, invisibles y diferentes en peso y tamaño) fueron creados por Dios en un número desmesurado, pero no infinito. Los átomos se pueden desplazar por el vacío donde chocan entre sí, dando lugar a la formación de los cuerpos. Para Gassendi, estos choques no son azarosos, sino que están dirigidos por la voluntad de Dios. De este modo, entonces, el atomismo griego (cualitativo, especulativo) sirvió de base para la conformación del atomismo moderno (cuantitativo, testeable), sobre el cual se modeló la ontología de la filosofía occidental moderna (Reale y Antiseri, 1998).

5.3. Boyle y la teoría corpuscular

Robert Boyle (1627–1691) fue un aristócrata irlandés profundamente interesado en los conocimientos religiosos y científicos. Realizó una sustantiva crítica tanto a la teoría aristotélica de los cuatro elementos como a la teoría de los *tria prima* elaborada por Paracelso. La crítica de Boyle se encuentra desarrollada en su obra cumbre, *El Químico Escéptico*, publicada en 1661. Contrario a la idea de la preexistencia de una forma y de cualidades como responsables de las propiedades de cada una de las sustancias de la naturaleza, Boyle propone que muchos de los cuerpos que tomamos como elementos no son tales, sino que son *compuestos* o “*cuerpos mixtos*” (nombre que les otorga para distinguirlos). Introduce asimismo las nociones de *textura* y *estructura*⁴⁵. Caracterizó un *compuesto químico* como “la unión de distintas texturas y una reorganización dentro de una estructura a través del movimiento de partículas”. De este modo, Boyle reconoce la especificidad de las partículas materiales que tienen propiedades geométricas y topológicas, y la explica en términos de corpúsculos y su textura y estructura. La noción de elemento químico había sido abordada en las distintas tradiciones filosóficas desde una perspectiva algo “oscura”. Boyle la conceptualizó desde el marco de la investigación empírica y es a menudo considerado como el autor de su “definición analítica”. Los experimentos determinarían si los materiales bajo estudio serían considerados “elementos” y no compuestos. Los elementos serían “perfectamente homogéneos y simples” y no debían estar formados por otros materiales (Ströker, 1968). Así, el principal aporte que realizó Boyle a la noción de elemento fue la propuesta de la *teoría corpuscular*, donde consideró que los

⁴⁵Esta explicación implica una mayor precisión que la tesis de Demócrito, para quien la estructura era un mero agregado de corpúsculos.

corpúsculos eran los componentes últimos de los cuerpos. Trabajó tanto con organismos vivos como con sustancias inanimadas. Boyle, que además de químico era un filósofo mecanicista, encontraba la explicación final de los fenómenos naturales en principios mecánicos. Según su perspectiva, las partículas constituyentes de los cuerpos eran susceptibles de ser tratadas mecánicamente. En cuanto al tamaño y la forma de las partículas, “deberían estar dispuestas” para poder reaccionar entre sí. Para Boyle, las características mecánicas de los corpúsculos eran fundamentales. Pero el comportamiento de los cuerpos no podía ser justificado apelando solamente a las particularidades mecánicas. Lo esencial eran las interacciones de los corpúsculos siendo los fenómenos químicos, precisamente, los resultados de esas interacciones (Brock, 1998).

5.4. Acerca del flogisto, Lavoisier y la definición operacional de “elemento”

La teoría del flogisto, esencialmente una teoría de los elementos desarrollada por el médico y químico Georg Stahl (1660–1734), buscaba explicar los fenómenos caloríficos involucrados en los procesos de combustión y calcinación de los metales, muy importante en el contexto histórico de una industrialización metalúrgica incipiente. Su principal antecedente son los escritos de Johann Becher (1635–¿1682?), quien consideraba que los minerales se habían formado después de la materia orgánica, a partir del agua y de la tierra.

Aunque rechazaba los *tria prima* de Paracelso, Becher propuso la existencia de tres tipos de tierra: la *terra fluida*, o tierra de mercurio, que le proporcionaba a las sustancias fluidez y volatilidad; la *terra lapídea* o tierra vítrea, donde residía el principio de fusibilidad, y la *terra pinguis* o tierra crasa, portadora carácter oleoso y combustible (Brock, 1998).

El principio del flogisto “era algo” presente en todas las sustancias combustibles y se transformaba por el calor, se desprendía en la calcinación de los metales, en la combustión de la materia orgánica y en procesos como la respiración, la fermentación y la putrefacción. Si mediante calentamiento se le agregaba flogisto al producto resultante de la combustión, se obtenía nuevamente el compuesto inicial. De esta manera, Stahl propuso que el proceso debía ser reversible. Esta teoría daba cuenta de observaciones empíricas en los procesos metalúrgicos, como la calcinación de los metales, que producían como resultado las entonces llamadas “cales” (Esteban Santos, 2001).

Antoine-Laurent de Lavoisier (1743–1792), considerado por muchos el padre de la química moderna, fue un abogado y destacado científico francés. Durante su formación científica en el colegio Mazarín de París, estudió la teoría del flogisto, la doctrina de los cuatro elementos en sus distintas interpretaciones, la teoría corpuscular desarrollada por Boyle y los trabajos químicos de Newton. Lavoisier fue el responsable de la primera aplicación sistemática de métodos cuantitativos que permitieron desarrollos en química analítica y que condujeron a descartar la teoría del flogisto y sentaron, a su vez, las bases de la teoría moderna de la oxidación. En esta

teoría el oxígeno sería el responsable de este proceso; la misma teoría condujo también a la determinación objetiva de la distinción entre elementos y compuestos.

Asimismo, fue quien reconceptualizó la noción de elemento. En el discurso preliminar de su “Tratado Elemental de Química” afirmaba:

“Todo lo que puede decirse acerca del número y la naturaleza de los elementos se reduce, en mi opinión, a puras discusiones metafísicas: sólo se intenta resolver problemas indeterminados susceptibles de infinitas soluciones, ninguna de las cuales, con toda probabilidad, será acorde con la naturaleza. Me contentaré, pues, con decir que si con el nombre de elementos pretendemos designar las moléculas sencillas e indivisibles que componen los cuerpos, es probable que las ignoremos; pero si por el contrario, ligamos al nombre de elementos o de principios de los cuerpos la idea del último término al que se llega mediante el análisis, todas las sustancias que no hemos conseguido descomponer mediante método alguno constituyen elementos para nosotros; no es que no podamos afirmar que estos cuerpos que consideramos simples no estén formados a su vez por dos o más principios, pero, dado que estos principios no se separan nunca, o mejor dicho, puesto que no contamos con ningún medio para separarlos, actúan en lo que nosotros respecta como cuerpos simples y no hay ninguna razón para suponer que sean compuestos, salvo si la experiencia y la observación demuestran lo contrario” (Lavoisier, 2007, p.61).

En esta caracterización de elemento se valora la función de la experimentación para conceptualizar los elementos químicos, al punto de supeditar la condición de elementos a la posibilidad de aislarlos mediante operaciones de laboratorio. Además, queda de manifiesto un profundo rechazo a toda consideración metafísica (Stengers, 1989). Dicha concepción de elemento fue concebida de manera provisional y subordinada al poder de las técnicas de análisis de la época. Tal caracterización aún se la encuentra en muchos libros de texto universitarios de amplia difusión (*cfr.*, por ejemplo, Atkins y Jones, 2005; Whitten, Davis, Peck y Stanley, 2008) y es muy frecuente tanto en los contextos de la enseñanza como el de la práctica de la química. Lavoisier altera así toda la tradición del conocimiento químico desarrollado hasta entonces. Propuso un sistema donde no tenían cabida conceptos como los de las afinidades o el flogisto, ni la problemática filosófica acerca de los constituyentes últimos de los cuerpos o los estudios históricos (Stengers, 1989).

6. Dalton y su aporte a la teoría atómica

El químico inglés John Dalton (1766–1844) propuso la aplicación de la teoría atómica a los elementos químicos. Ello le permitió formular una hipótesis compatible con las determinaciones experimentales cuantitativas de sustancias químicas que se llevaban a cabo en el laboratorio en esa época (Brock, 1998). Esto tuvo como efecto inmediato convertir en indiscutible el concepto de proporción, de combinación mediante unidades discretas, pero desplazó del debate hacia otro problema: ¿cuál es la fórmula correcta de los compuestos? Dalton adoptó una regla sencilla para explicar las relaciones ponderales de combinación: cuando dos elementos forman un solo compuesto, este es binario y combina un átomo de uno con un átomo del otro. Cuando forman dos compuestos, uno es binario con un átomo de cada tipo, y el otro ternario con dos átomos de uno por cada átomo del otro, y así sucesivamente. Gracias a esta regla, Dalton pudo calcular los valores numéricos que permitieron fijar pesos relativos de los átomos (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997).

Como vimos, la teoría atómica acerca de la naturaleza de la materia existía desde hacía siglos, pero la principal contribución de Dalton consistió en formular una manera de calcular los pesos relativos de las partículas últimas de la materia, a partir de mediciones que podían ser realizadas en el laboratorio. Ese cálculo implicó por primera vez en la historia poder interpretar a los átomos como entidades pertenecientes a la realidad tangible, como objetos concretos. Es posible ilustrar la posición propuesta por Dalton a partir de tres premisas fundamentales: 1) toda la materia está compuesta por átomos sólidos, indivisibles e incomprensibles; 2) los átomos son indestructibles, por lo que conservan su identidad en cualquier reacción química y 3) los átomos de cada elemento, son iguales entre sí, pero diferentes a los de los demás elementos.

Los átomos, en la propuesta epicúrea, estaban compuestos por el mismo tipo de materia, pero con distinta forma. Para Dalton, en cambio, cada tipo de átomo tenía una materialidad unívoca; mediante este presupuesto, logró vincular la idea de átomo con la idea de elemento, ambas provenientes de la filosofía presocrática. De esa manera, introdujo el concepto de que las porciones macroscópicas de materia de cada una de las clases de los elementos químicos estaban formadas por un tipo particular de átomos; que estos átomos eran todos iguales entre sí, pero diferentes a los átomos de los demás elementos. A partir de esta concepción es posible afirmar que los átomos, tal como eran entendidos por Dalton, apenas guardaban un vago parentesco con sus antiguos homónimos (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997).

7. Mendeleev y la naturaleza dual del concepto de elemento

Para dictar su curso de química en 1868, el químico ruso Dimitri Mendeleev (1834–1907) consideró que carecía del material didáctico apropiado, lo que lo llevó a elaborar su propio manual. Una de las primeras dificultades con las que se encontró fue cómo presentar a los estudiantes lo más relevante del enorme conjunto de conocimientos químicos acumulados durante décadas, acerca de miles de sustancias químicas conocidas.

La solución mayoritariamente adoptada para la enseñanza de la disciplina en esa época consistía en relacionar las propiedades de los cuerpos compuestos con las propiedades de los cuerpos simples que los formaban. Pero Mendeleev, en cambio, adoptó una posición pluralista. Consideró que las propiedades de los cuerpos simples y compuestos presentaban una función periódica, dependiente de los pesos atómicos de los elementos. Concluyó, entonces, que las propiedades fenoménicas no son otra cosa que manifestaciones exteriores de los elementos, teniendo éstos un estatus más fundamental, de naturaleza metafísica. En este sentido, Mendeleev se ocupó de diferenciar claramente entre la noción de *cuerpo simple* o *sustancia simple* y la noción de *elemento*. Un cuerpo simple es “algo” material, dotado de propiedades físicas y que puede intervenir en las reacciones químicas; en cambio, el término “elemento” evoca necesariamente algo de carácter más básico y fundamental, abstracto, inobservable. Concebida entonces la noción de elemento como sustancia abstracta, Mendeleev le asigna al menos un atributo: su peso atómico.

Sostuvo, asimismo, que su clasificación periódica tenía que ver con los elementos concebidos como sustancias abstractas y no con los elementos como sustancias o cuerpos simples. De acuerdo con Mendeleev, el cuerpo simple y el compuesto quedan relegados al mundo de las apariencias. El elemento es el único principio explicativo, el sustrato de todo lo observable. Los elementos no tienen existencia fenoménica, se encuentran siempre 'ocultos' en un cuerpo simple o compuesto. Se trata de una realidad fundamental, netamente abstracta, que explica la conservación y permanencia de las propiedades individuales a pesar de los cambios químicos (Bensaude-Vincent, 1989; Scerri, 2007).

8. Paneth y la distinción conceptual entre sustancia básica y sustancia simple

Se ha señalado hasta ahora que a partir de los trabajos de Lavoisier se consolidó la posición que consideraba a los elementos químicos como sustancias que podían aislarse y observarse en el laboratorio, es decir, los productos finales del análisis químico abandonando los aspectos metafísicos subyacentes. Con Mendeleev se recupera la apelación a la naturaleza metafísica como parte fundamental de la noción de elemento químico, en particular, en su concepción de elemento abstracto o real, subyacente a la sustancia macroscópica.

Los vertiginosos cambios producidos en la primera década del siglo XX en la naturaleza de la materia implicaron una profunda revisión del conocimiento científico y de sus concepciones filosóficas. Tras el descubrimiento de los isótopos en la década de 1910, ya no fue posible considerar que los átomos de cada elemento fueran todos idénticos. El descubrimiento provocó la llamada “crisis de los isótopos”, donde la discusión se centró acerca de si los isótopos debían considerarse nuevos elementos químicos. Una respuesta afirmativa implicaba el reemplazo de la tabla periódica por la tabla de los isótopos (Scerri, 2007).

El radioquímico austríaco Friedrich Paneth (1887–1958) fue uno de los primeros en abordar las implicancias filosóficas que estos descubrimientos tenían para la química, particularmente respecto de la naturaleza de los elementos. En la conferencia de Königsberg de 1931, Paneth (1931) sugirió una interpretación dualista de la noción de elemento. Marcó claramente la diferencia entre las dos concepciones tradicionales: si afirmamos que los elementos son los productos últimos del análisis, se emplea entonces el concepto que prioriza el sentido como entidades meramente empíricas, como magnitudes observables, es decir como “*sustancia simple*”; si, por el contrario, se los piensa como los constituyentes últimos de la materia, como aquello que no varía en el curso de las reacciones químicas, surge el concepto de “*sustancia básica*”.

En consecuencia, para Paneth la noción de “sustancia básica” refiere a aquello de los elementos que es indestructible en los compuestos, que se conserva a pesar del cambio, que es independiente de las transformaciones químicas. En tanto la noción de “sustancia simple” denota la forma en que la sustancia básica, no combinada con otras, se presenta ante el mundo de los sentidos y tiene únicamente un sentido

fenomenológico. De esta manera, Paneth recalca que el sentido más fundamental de la noción de elemento es su manifestación como sustancia básica, ejemplificándolo con el caso de la reacción entre el sodio metálico (Na) (un metal grisáceo, maleable y muy reactivo) y el gas cloro (Cl_2) (un gas irritante de color verdoso) que forman cloruro de sodio (NaCl) (un sólido cristalino de color blanco). Hay “algo” que sobrevive tanto del Na como del Cl en el producto de la reacción NaCl: para Paneth, ese “algo” que permanece a pesar del cambio es la sustancia básica, de índole metafísica, que le permite al elemento químico eventualmente poder regresar al estado original.

Paneth resolvió así la “crisis de los isótopos” al recordar el ordenamiento de los elementos en el sistema periódico como sustancias básicas y no como sustancias simples, recuperando el sentido dual propuesto por Mendeleev. Si los químicos se hubieran centrado únicamente en las sustancias simples, se habrían visto obligados a reconocer nuevos “elementos” en cada nuevo isótopo descubierto. Paneth sostuvo entonces que la tabla periódica de los elementos químicos podía retenerse considerando que las propiedades químicas de los isótopos del mismo elemento, salvo algunas excepciones, son indistinguibles.

Sobre la base del descubrimiento de Henry Moseley, en 1913, de que el número atómico era un mejor criterio de ordenamiento de los elementos que el peso atómico, por un lado, y de los trabajos de Paneth, por otro, en 1923 la IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) modificó la propiedad esencial de un elemento químico del peso atómico a su número atómico (Scerri, 2007). Surgía así lo que algunos autores denominan la concepción “moderna” de elemento que lo identifica con su carga nuclear, es decir, con el número de protones de su núcleo; más aún, algunos autores afirman que las concepciones previas de “elemento” deben considerarse como puramente históricas (Roundy, 1989; Myers 2012).

9. Las discusiones actuales

9.1. Posiciones basadas en la distinción de Paneth

Entre los actuales filósofos de la química que abordan el problema de la naturaleza de los elementos desde una perspectiva basada en la distinción de Paneth, debe mencionarse, por ejemplo, a Eric Scerri (2005, 2009, 2012), quien resalta las ventajas que presenta la distinción de Paneth para la comprensión, la caracterización y la clasificación de los elementos químicos. En sus trabajos destaca la relevancia de la noción de “sustancia básica” para problemáticas filosóficas como la metafísica de las entidades químicas, la permanencia de los elementos en los compuestos, el carácter de los elementos químicos como clases naturales, el problema de la reducción de la química a la mecánica cuántica y los problemas epistemológicos que aún presenta la tabla periódica.

Sin embargo, sugiere una crítica al trabajo de Paneth con el propósito de aclarar una cierta confusión en la relación existente entre los conceptos de *sustancia básica*,

sustancia simple y elemento. Considera que la distinción de Paneth, tal como fue presentada, puede inducir a interpretar que “elemento” es la entidad fundamental, y que tanto “sustancia básica” como “sustancia simple”, son en algún sentido derivadas de la noción más fundamental de “elemento”. Scerri introduce entonces el término “*sustancia simple combinada*” para referirse a las sustancias compuestas por más de un elemento. Considera que de este modo se resalta que la noción de “sustancia básica” subyace tanto a la sustancia simple como a la sustancia simple combinada. Señala asimismo que el sistema periódico, si bien se ordena a partir de los elementos concebidos como sustancias básicas, incluye además a las sustancias simples combinadas que también muestran periodicidad (reactividad química, propiedades físicas, etc.). De acuerdo con el autor, resulta difícil visualizar de qué manera, centrándose principalmente en los elementos como sustancias básicas, se pueda llegar a proporcionar alguna información acerca de la agrupación de los elementos en la segunda dimensión de la tabla periódica (los grupos químicos). La introducción del término “*sustancia simple combinada*”, considera Scerri, contribuye a superar esa dificultad, al tiempo que también aclara el alcance de la noción de los elementos como “sustancia básica”.

Otro investigador, Earley (2008), en un estudio acerca de la naturaleza de las sustancias y de los elementos químicos, considera que se presentan algunas ambigüedades en la distinción de Paneth, debidas a problemas en la traducción. El trabajo original de Paneth fue escrito en alemán, la traducción al inglés fue realizada por su hijo Fritz Paneth, quien tradujo los términos *einfacherstoff* y *grundstoff* del original como “simple substance” y “basic substance”, respectivamente. Earley analizó el sentido original del término utilizado por Paneth para la sustancia básica, considerando que el término *grundstoff* en alemán no significa una sustancia en sentido metafísico estricto, sino que remite a una idea que implica un cierto tipo de materialidad, aspecto que no se refleja en la traducción ‘*basic substance*’ del inglés. Earley considera que las dificultades conceptuales son provocadas, en gran medida, por la polisemia existente. En ese sentido, sugiere resolver el problema mediante una clara diferenciación lingüística, definiendo *einfacherstoff* como “sustancia elemental”, en lugar de “sustancia simple”, y reservando el término *grundstoff* para designar al constituyente último de la sustancia química.

9.2 Posiciones alternativas acerca de la naturaleza de los elementos

La naturaleza dual del concepto de elemento ha sido resistida por algunos filósofos contemporáneos de la química como Robin Hendry (2005, 2006) y Rein Vihalemm (2011), los cuales niegan cualquier sentido metafísico a los elementos. Y autores como Eugen Schwarz (2007) abordan el problema proponiendo una nueva denominación.

Hendry argumenta que Lavoisier y Mendeleev comparten una concepción común de los elementos, aunque cada uno ha sido visto como ofreciendo una definición diferente de “elemento”. Dicha concepción común es el concepto de “sustancia básica”, noción introducida por Paneth en 1931, tal como hemos visto. De

acuerdo con Hendry, la continuidad conceptual del término “elemento” perdura desde finales del siglo XVIII pese a las nuevas concepciones teóricas de la química, como fueron la consolidación de la teoría atómica, la aceptación de la naturaleza eléctrica de la materia o el descubrimiento de las partículas subatómicas. Esta continuidad, según el autor, se deriva de la presencia constante de tres hipótesis que hacen de los elementos los componentes básicos de la química, y son las siguientes: 1) Sobreviven al cambio químico; 2) Todos los compuestos están formados por ellos; y 3) La composición elemental de un compuesto explica su comportamiento. Estos tres supuestos conforman “la concepción central” de un elemento químico y permiten la continuidad referencial en los nombres de los elementos individuales. Hendry considera que esta continuidad se da a lo largo de la historia de la química, de modo que las posiciones de Lavoisier, Dalton o Mendeleev, a pesar de las grandes diferencias conceptuales que presentan, comparten la “concepción central” acerca de los elementos, brindándole continuidad a su referencia.

El autor desarrolla una crítica a la distinción entre “sustancia básica” y “sustancia simple” presentada por Paneth. Coincide en que la noción de sustancia básica es más abstracta que la noción de sustancia simple, pero para Hendry la diferencia no radica en la distinción metafísica entre lo abstracto y lo concreto, sino más bien en las diferencias de niveles de abstracción propias del campo de la lógica y la teoría de conjuntos. Para dar cuenta de tal diferencia, y evitar la confusión, propone la siguiente distinción conceptual entre: 1) “*Elemento libre*”: que denota los elementos que no están combinados con ningún otro; 2) “*Elemento*”: que indica cualquier estado particular de combinación química. De esta forma, los conceptos de “elemento libre” y “elemento” guardan una relación lógica de inclusión.

La denominación propuesta por Hendry para denotar los elementos químicos es apoyada por Rein Vihalemm, quien también presenta una crítica a la apelación a la metafísica para dar cuenta del comportamiento de los elementos como sustancias básicas. Vihalemm sostiene que apelar a la metafísica no explica actualmente nada, ni en ciencia, ni en filosofía de la ciencia. Sobre esta base, Vihalemm afirma que la distinción propuesta por Paneth es ambigua, y que la idea de sustancia básica en esos términos carece de capacidad explicativa en la ciencia química.

Finalmente, Eugen Schwarz señala que la falta de claridad de conceptos químicos, como el de elemento, es uno de los principales problemas irresueltos para una adecuada explicación del sistema periódico. En ese sentido, considera que los químicos y los filósofos de la química utilizan el término “elemento químico” con tres significados diferentes: 1) *Elemento químico básico*: denota la sustancia básica que subyace a las sustancias macroscópicas; 2) *Elemento metalúrgico simple*: refiere a la sustancia química constituida por un solo tipo de elemento químico básico. Se especifica a través de las propiedades de sus fases; y 3) *Elemento astrofísico* (o átomo elemental): denota a los átomos físicos en el vacío, especificados mediante su carga nuclear y refiere a las propiedades de los materiales macroscópicos.

10. Conclusiones

En este capítulo nos hemos referido al desarrollo histórico y filosófico de la noción de “elemento” con referencias no siempre acabadas y polémicas. Para los filósofos antiguos los “elementos” eran sustancias que podían existir, pero también los concebían como sustratos que daban lugar a sus propiedades observables. En el siglo XVIII Lavoisier fue el primero en señalar que un elemento debía ser considerado como la etapa final de la descomposición química, es decir, los elementos tangibles y observables, noción de elemento que aún perdura. Sin embargo, el sentido abstracto de elemento fue revalorizado por Dimitri Mendeleev en la década de 1860, al afirmar que además de las sustancias simples (aislables), los elementos tenían una sustancia básica (inobservable) con una única propiedad: su peso atómico. Posteriormente, Fritz Paneth desarrolló la noción de elemento químico, resaltando la distinción entre sustancia simple y sustancia básica, la cual permitió resolver la denominada “crisis de los isótopos”. Dicha distinción será la base de muchas de las discusiones actuales en el campo de la historia y de la filosofía de la química. Finalmente, cuando se modifica la propiedad esencial de un elemento químico del peso atómico a su número atómico, emerge así lo que algunos investigadores denominan la concepción “moderna” de elemento que lo identifica con su carga nuclear.

Hemos visto que las distintas acepciones se han ido construyendo a través de los siglos y de las diversas culturas sobre cimientos que han estado condicionados o muchas veces determinados por cosmovisiones particulares que han dado paso cansino, y a veces complejo, a nuevas teorías sobre la naturaleza de la ciencia y la función que desempeña en el mundo. Pensamos en el filósofo, en el historiador, pero también en el profesor y en el estudiante que han de aprender a interpretar justamente este mundo con teoría. ¿Por qué incorporar entonces la historia de la noción de elemento en la enseñanza de la química o en la formación del profesorado de ciencias? ¿Cómo hacerlo? ¿Con qué limitaciones?

La historia de la química promueve una mejor comprensión de las teorías y métodos científicos; los enfoques históricos y filosóficos conectan el desarrollo del pensamiento individual con el desarrollo de las ideas y las subjetividades; la historia de la ciencia es necesaria para entender la naturaleza de la ciencia. Se cuestiona así de manera natural o intencionada el científicismo y dogmatismo que son comunes de encontrar en nuestras clases y textos de química. La historia y filosofía de la ciencia al examinar las ideas científicas y épocas específicas de la humanidad colabora en una imagen de la química diferente a la que hemos aprendido, haciéndola menos abstracta y más cercana al estudiantado y a la sociedad en general. Finalmente, la historia y la filosofía de la química nos permite conectarla con otros saberes, integrando la natural interdependencia del conocimiento humano con todas las manifestaciones de la cultura en su más amplio espectro. Este capítulo es un aporte en esa dirección. Falta aún mucho por decir e investigar.

Agradecimientos

Martín Labarca agradece el apoyo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (FONCyT) de Argentina. Alfio Zambon agradece el apoyo Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

Este capítulo sigue las orientaciones teóricas y metodológicas del **Proyecto COLCIENCIAS-CONICYT Folio: PCCII130073** y del **Proyecto de Movilidad Académica DRI-UC 024/14** que dirige el Dr. Mario Quintanilla Gatica.

Lista de referencias bibliográficas

- ABBAGNANO, N. (1978). *Historia de la Filosofía*. Barcelona: Editorial Montaner y Simón.
- ABBAGNANO, N. (2008). *Diccionario de Filosofía*. México: Fondo de Cultura Económica.
- ATKINS, P., JONES, L. (2005). *Principios de Química*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 3ra. Edición.
- BENSAUDE-VINCENT, B. (1989). Mendeleiev: historia de un descubrimiento. En Serres, M. (Ed.), *Historia de las Ciencias* (503–525). Madrid: Ediciones Cátedra.
- BENSAUDE-VINCENT, B. Y STENGERS, I. (1997). *Historia de la Química*. Madrid: Addison Wesley - Universidad Autónoma de Madrid.
- BROCK, W. (1998). *Historia de la Química*. Madrid: Alianza Editorial.
- EARLEY, J. (2009). How chemistry shifts horizons: element, substance, and the essential. *Foundations of Chemistry*, 11, 65–77.
- ESTEBAN SANTOS, S. (2001). *Historia de la Química*. Madrid: UNED.
- HENDRY, R. (2005). Lavoisier and Mendeleev on the elements. *Foundations of Chemistry*, 7, 31–48.
- HENDRY, R. (2006). Elements, compounds and other chemical kinds. *Philosophy of Science*, 73, 864–875.
- LAVOISIER, A. (2007). *Tratado Elemental de Química*. Barcelona: Crítica. Primera edición.
- MYERS, R. J. (2012). What are elements and compounds?. *Journal of Chemical Education*, 89, 832–833.
- PANETH, F. A. (1931). The epistemological status of the concept of element. Reimpreso en *Foundations of Chemistry*, 5, 113–145 (2003).
- REALE, G. Y ANTISIERI, D. (1998). *Historia del Pensamiento Filosófico y Científico*. Barcelona: Editorial Herder.
- ROUNDY, W. H. (1989). What is an element?, *Journal of Chemical Education*, 66, 729–730.
- SCERRI, E. R. (2005). Some aspects of the metaphysics of chemistry and the nature of the elements. *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry*, 11, 127–145.
- SCERRI, E. R. (2007). *The Periodic Table – Its Story and Its Significance*. New York: Oxford University Press.

- SCERRI, E. R. (2009). The dual sense of the term 'element', attempts to derive the Madelung rule and the optimal form of the periodic table, if any. *International Journal of Quantum Chemistry*, 109, 959–971.
- SCERRI, E. R. (2012). What is an element? What is the periodic table? And what does quantum mechanics contribute to the question?. *Foundations of Chemistry*, 14, 69–81.
- SCHWARZ, W. H. E. (2007). Recommended questions on the roads towards a scientific explanation of the periodic system of the chemical elements with the help of the concepts of quantum physics. *Foundations of Chemistry*, 9, 139–188.
- STENGERS, I. (1989). La afinidad ambigua: el sueño newtoniano de la química del siglo XVIII. En Serres, M. (Ed.), *Historia de las Ciencias* (337–361). Madrid: Ediciones Cátedra.
- STRÖKER, E. (1968). Element and compound. On the scientific history of two fundamental chemical concepts. *Angewandte Chemie International Edition*, 7, 718–724.
- VIHALEMM, R. (2011). The autonomy of chemistry: old and new problems. *Foundations of Chemistry*, 13, 97–107.
- WHITTEN, K., DAVIS, R., PECK, L. & STANLEY, G. (2008). *Química*. México: Cengage Learning, 8va. Edición.

Capítulo 12

Historia de la microscopía. Aportes para la solución de problemas científicos en la clase de química

Rodrigo Jesús Páez Cornejo

Colegio Santa Isabel de Hungría

Universidad de Chile.

Chile

Guillermo Ignacio Calderón López.

Colegio Terranova

Chile

Carol Lindy Joglar Campos.

Universidad de Chile y Universidad Central de Chile

Chile

Índice

Introducción

- 1. La historia de la ciencia y su aporte a la enseñanza de la biología*
- 2. Consideraciones epistemológicas para la enseñanza de la microscopía*
- 3. Los problemas científicos escolares*
- 4. La propuesta didáctica*

Conclusiones

Lista de referencias bibliográficas

“Después de escalar una montaña muy alta, descubrimos que hay muchas montañas por escalar”.

Nelson Mandela

Introducción

La enseñanza de la biología y en particular de los contenidos conceptuales relacionados con la biología celular y el modelo de célula, resultan ser, a nivel escolar, un desafío de gran complejidad para el docente a la hora de diseñar y aplicar alguna actividad didáctica. Es común que cuando se enseñen no se tomen en cuenta las dificultades enfrentadas por los científicos para hacer descubrimientos y avances que hacen posible el actual desarrollo de esta área en la biología. Estos avances, en especial durante el siglo XX, aumentaron de forma intensa y extensa estas complejidades inherentes a la biología y su enseñanza. Esto ocurre, también, porque el

modelo teórico de célula se complejiza, el cual, actualmente, es paradigmático para la enseñanza de la biología (Albarracín, 1983), destacando la importancia de su enseñanza en la escuela.

Se presenta una propuesta que tiene como objetivo mostrar, de forma aplicada, un método de diseño de problemas científicos escolares para aplicarlos en el aula, basándose en un hecho histórico. Esta propuesta utiliza como estrategia innovadora el uso de una gradilla considerando elementos para la elaboración y resolución de problemas científicos escolares (Quintanilla, 2013) y formulación de preguntas con sentido que permitan la emergencia de demandas cognitivas de orden superior por parte de los estudiantes de ciencias experimentales que sean sometidos a estas experiencias.

1. La historia de la ciencia y su aporte a la enseñanza de la biología

Analizar situaciones problemas reales enfrentadas por los científicos en la historia de la ciencia, puede ser un aporte que posibilite al estudiantado comprender la complejidad y las dificultades enfrentadas en el desarrollo de la ciencia. Esta es una propuesta discreta para utilizar las situaciones problemas reales enfrentadas en el desarrollo de instrumentos científicos históricos (Heering et. al., 2000), como es el caso del microscopio, para favorecer la comprensión de la construcción del modelo teórico de célula en los últimos cinco siglos.

Actualmente no es común dicutar la función que ha cumplido el microscopio en el desarrollo del actual modelo teórico de célula. Sin embargo, es habitual que ese desarrollo sea enseñado como si hubiera sido algo fácil (ahistorico). Este capítulo trata de una propuesta de una situación problema para la enseñanza del modelo teórico de célula.

Nos parece importante problematizar sobre el tema, ya que en la escuela se enseña la célula, su organización y fisiología, como algo que siempre “existió”, y que todo lo que se debería saber acerca de ella, ya se sabe. De esta forma no promovemos en los estudiantes competencias de pensamiento científico que colaboren a una mejor comprensión del mundo natural y sus fenómenos.

1.1. Principales hitos en el desarrollo del microscopio.

Si pudiéramos hablar de los inicios de la microscopia, tendríamos que remitirnos al año 1847, cuando durante el desarrollo de trabajos de investigación arqueológica en la ciudad de Nínive, Sir Austin Henry Layard, descubrió el primer lente del cual tenemos conocimiento. Era un lente plano convexo de cristal de roca tallada toscamente (Imagen 1). Sin embargo el primer registro de un microscopio construido es a fines del siglo XVI, el cual reconoce como su inventor a Janssen. Lo que significó un gran avance, ya que se garantizaba así el paso desde las simples lupas a microscopios. En este periodo, se destacaron los trabajos realizados por diseñadores

de instrumentos científicos italianos y holandeses. Sin embargo, en el siglo XVII se realizó la introducción del uso de los microscopios en la investigación biológica, la cual fue probablemente efectuada por Galileo Galilei (Imagen 2), que en 1618, época en que este describió la estructura del ojo de las abejas junto a Francesco Stelutti, ambos miembros de la “Academia dei Lincei”. El sabio jesuita Kircher (1646) observó con su microscopio los “mínima animacula” en la tierra y en el agua.



Imagen 1. Lente descubierta en Nínive⁴⁶



Imagen 2. Microscopio compuesto de Galileo Galilei.⁴⁷

En 1668, el holandés Antoni van Leeuwenhoek, consiguió imágenes de mayor calidad, permitiéndole así el descubrimiento de infusorios y eritrocitos. Debido a sus hallazgos, Leeuwenhoek es hasta nuestros días, muy reconocido en la biología celular y en la enseñanza de la microscopía en todos los niveles educativos. En la Imagen 3 se puede apreciar el microscopio simple utilizado por este.



Imagen 3: Microscopio simple de Antoni Van Leeuwenhoek⁴⁸

En el año de 1665 aparece en Londres lo que hoy conocemos como la peste bubónica, llamada en la época la “gran plaga”. Esta epidemia acabó con la vida de entre 1.000 a 7.000 personas semanales en Inglaterra. Las condiciones de higiene en esta época eran muy deficientes, por lo que causó que la enfermedad se propagara al principio en la

⁴⁶ Tomada de <http://campus.usal.es/~histologia/museo/Microscopios/museo01/museo01.htm>

⁴⁷ Tomada de <http://campus.usal.es/~histologia/museo/Microscopios/museo03/museo03.htm>

⁴⁸ Tomada de <http://campus.usal.es/~histologia/museo/Microscopios/museo04/museo04.htm>

población más vulnerable, y solo llamó la atención de las autoridades, cuando esta comenzó a llegar a los grupos más acomodados de la sociedad. Al siguiente año, Londres sufre otro impacto, un incendio de proporciones gigantescas, que duró tres días, destruyó más de 13.200 casas, y 87 iglesias. Una sexta parte de la población quedó sin vivienda. En este complejo contexto, Robert Hook, realizó grandes aportes a la ciencia, entre ellos, utilizó el microscopio para observar cortes de corcho (Imagen 4), y empleó por primera vez el vocablo “célula”, sin embargo lo que realmente estaba observando eran los restos de una célula vegetal. Durante esta misma época Hooke sostuvo intensas polémicas con Newton, acerca de la autoría de la ley de la gravitación universal.



Imagen 4. Microscopio de Robert Hooke ⁴⁹

El siglo XVIII en la microscopía se caracterizó por las innovaciones mecánicas realizadas por diseñadores de instrumentos británicos, lo que permitió una mejora en la calidad de los instrumentos. También se discutió y construyó el primer microscopio que tenía un mecanismo de enfoque avanzado. Sin embargo, esto no se aplicó todavía al mejoramiento en la calidad de las imágenes, las que permanecían aún borrosas.

No obstante estas limitaciones de la microscopia, fue un siglo fecundo para el avance de los estudios de la biología, como el descubrimiento de las criptas de Lieberkühn, avances significativos en botánica y la observación del movimiento browniano. Un ejemplo de este tipo de microscopio utilizado en esta época fue diseñado por Edmund Culpeper en Inglaterra (Imagen 5). Este microscopio permite la observación de preparaciones por transparencia al colocar una platina sujeta por tres pilares a la base en la que hay instalado un espejo para reflejar la luz.

⁴⁹ Tomada de <http://campus.usal.es/~histologia/museo/Microscopios/museo07/museo07.htm>



Imagen 5. Microscopio de E. Culpeper⁵⁰

El siglo XIX se caracterizó por los significativos avances de la microscopia en lo relativo a la óptica y el desarrollo de lentes de mejor calidad, con la introducción de los objetivos acromáticos. Se introdujeron cambios en la iluminación lo que permitió mejoras en la calidad de las imágenes hasta ahora confusas y difíciles de definir. Del mismo modo se perfeccionan las fórmulas de los vidrios, permitiendo la producción de los primeros objetivos apocromáticos. En esta época también debutó la fotomicrografía.

El siglo XX se caracterizó por el rápido avance en las técnicas de contraste, lo que permitió también otros descubrimientos en la biología en general. Estos avances de cierta forma son eclipsados por la tecnología de la imagen digital.

Al finalizar este capítulo se presentan las principales fases del desarrollo histórico del microscopio, además, de los avances que proporcione a los descubrimientos de la biología. Su principal objetivo es aportar al profesorado información histórica fundamental sobre la microscopía y sus diferentes épocas en que fueron reconocidos como institutos científicos de alto valor.

1. Consideraciones epistemológicas para la enseñanza de la microscopía

Para la propuesta didáctica que se plantea es relevante indicar que uno de los aspectos distintivos de la ciencia moderna es la observación empírica, que no siendo condición suficiente para hacer ciencia, es condición razonable y necesaria.

La observación es un dominio del mundo de la vida para construir conocimiento y experiencia; pero es necesario problematizarla en los estudiantes. Empiristas y positivistas forman dos escuelas que tienen una visión en común de la ciencia, la que afirma que el conocimiento científico se deriva de los hechos. Es así como los empiristas ingleses de los siglos XVII y XVIII, en particular John Locke, George Berkeley y David Hume tenían una línea de pensamiento en la que

“sostenían que todo el conocimiento debía surgir de ideas implantadas en la mente por medio de la percepción sensorial. Los positivistas tenían una visión algo más amplia y menos orientada hacia lo psicológico de lo que significan los hechos, pero compartían la opinión de

⁵⁰ Tomada de <http://campus.usal.es/~histologia/museo/Microscopios/museo14/museo14.htm>

los empiristas de que el conocimiento debía emanar de los hechos de la experiencia. Empirismo y positivismo comparten el punto de vista de que el conocimiento científico debe de alguna manera surgir de los hechos alcanzados por la observación". Chalmers (2000, p. 3)

Lo anterior proporciona un componente didáctico epistémico interesante a desarrollar con los alumnos: en una tradición que ha insistido en que la ciencia resulta de los hechos, ¿cuál es la naturaleza de los hechos? (observables o “no observables”) (Chalmers, op. cit.) y ¿cómo se tiene acceso a ellos?

Dos observadores que vean el mismo objeto en circunstancias parecidas no tienen la misma experiencia visual, por lo que viendo “lo mismo”, la interpretan de modo diferente. Esto es especialmente significativo en el caso de estudiantes de enseñanza básica y media: en este sentido, el que ve no es el ojo sino el sujeto, culturalmente situado, culturalmente socializado, con más o menos experiencia o conocimiento (Ávila, 2004).

En este aspecto es relevante resaltar, en los alumnos, la distinción entre ver y mirar, como señala Vásquez (2002, p. 78):

"El ver es natural, inmediato, indeterminado, sin intención; el mirar, en cambio, es cultural, mediato, determinado, intencional. Con el ver se nace, el mirar hay que aprenderlo. El ver depende del ángulo de visión de nuestros ojos, el mirar está en directa relación con nuestra forma de socialización".

En la comunidad científica actual, hay consenso de que está superada la hipótesis que define un lenguaje observacional que esté exento de toda carga teórica, al igual que la idea de un lenguaje teórico es axiológicamente neutral (Rodríguez de Rivera, 2008).

Es interesante poner “bajo la lupa”, en el contexto de desarrollo de la actividad propuesta de enseñanza del uso del microscopio, la tradición epistémica antes mencionada, en que la observación es el camino privilegiado de acceso a los hechos, y en que el investigador tiene el papel de recoger los datos. En la física, química o biología se hace uso, como parte consustancial al método de observación científico sobre el mundo fenoménico, que requiere de datos para la formulación de sus leyes, de aparatos como el microscopio y de otros dispositivos que procesan datos electrónicamente. La filosofía natural antigua era típicamente una ciencia de observación. La observación científica de las ciencias naturales moderna es algo diferente porque es una observación “instrumental” (Agazzi, 1997). No obstante, una medición- en este caso la propuesta didáctica sobre microscopía- no es significativa sin pre-definiciones de lo que es ese medir.

Pero en los inicios del uso de microscopios rudimentarios (Jensen, Galileo, Leeuwenhoek, Malpighi, etc), las observaciones carecen de unidad intrínseca y de finalidad determinada, no estando las búsquedas de Leeuwenhoek y los demás microscopistas del siglo XVII guiadas por un programa preconcebido. Los investigadores se adentraban en una zona completamente no explorada de la naturaleza, convirtiéndose el microscopio en el vínculo que los unía (Papp, 1993). No eran teorías o preconcepciones. Por lo menos no estructuradas aún en torno al mundo

micro. La biología tenía un fuerte sesgo de ser descriptiva. En este contexto es la observación en sí misma la generadora de nuevo conocimiento, con todas las dificultades que propias de ello.

En lo que se refiere a este tema, puede surgir otra arista interesante a plantear a los estudiantes: la relación-distinción entre ciencia y tecnología. En general la enseñanza de la ciencia no ha conseguido todavía aclarar adecuadamente las diferencias y relaciones entre ciencia y tecnología (Acevedo, 1997). Se tiende en textos y definiciones -y está presente en la cultura del estudiantado- a subordinar la segunda a la primera, o bien a señalar que la tecnología es el instrumento para la realización práctica del conocimiento científico. Epistemológicamente es necesario que los estudiantes se planteen cuál es el objeto de estudio de cada una de ellas y cuáles son sus métodos.

No menos relevante es aproximar al alumno, y problematizar, a algunas reflexiones sobre la observación/observador provenientes de la Epistemología de la Complejidad. El mérito central de la Teoría de la Complejidad como método es el "pensamiento relacional". Esta es una de las características distintivas del trabajo de Morín. El método consiste en el aprendizaje del pensamiento relacional y pretende lograr una actitud distintiva, de carácter integradora hacia el propio conocimiento. Ello, nos parece, podría debatirse en otro momento.

En su postura más radical hacia la observación y el observador, plantea que en el proceso de observación inscrito en los fundamentos de la ciencia clásica se considera al sujeto cognoscente como un observador neutro, separado del objeto y despojado de sus emociones, intereses y creencias. Desde este paradigma, el de la Complejidad, el objeto por conocer, es entendido de forma múltiple y diversa, tan múltiple y diversa como las disciplinas que lo abordan, considerando su relación dialógica con el mundo exterior, y aún más, en el interior de cada disciplina se presentan divergencias para entenderlo (Giraldo, 2004).

En este contexto de la reflexión de la Epistemología de la Complejidad, la relación observación/observador es comprendida como la forma en que un observador (individuo o colectivo: como sistema social) realiza sus operaciones de conocimiento construyendo una diferencia entre lo designado o marcado como objeto de ese conocer y lo que está más allá de esa marca y sobre lo que no se indica o señala nada preciso (Rodríguez de Rivera, op. cit.).

Desde esta perspectiva se sostiene que se está produciendo un giro epistémico de la ciencia que han contribuido a redimensionar y reposicionar el papel activo del observador en la observación y, por ende, en el modo de producir conocimiento.

2. Los problemas científicos escolares

La enseñanza de las ciencias en todos los niveles educativos, proporciona escasas oportunidades para que los estudiantes puedan reconocer y familiarizarse con actividades propias del trabajo científico, las que algunas veces hasta los propios docentes desconocen. La educación en ciencias se ha transformado en una simple transmisión repetitiva, memorizada, estática, irreflexiva, descontextualizada y ahistórica de “*el conocimiento*” que se ha logrado desarrollar a través de las distintas épocas; en donde la práctica docente toma especial importancia, ya que replanteando las prácticas ya tradicionales y deformadoras de la ciencia (Fernández et al., 2002) han contribuido a la crisis educativa en la cual nos encontramos actualmente. Es necesario realizar un cambio sustancial y definitivo, con miras a la construcción de modelos científicos más acordes con una visión naturalizada de la ciencia, donde es necesario conectar la ciencia erudita y escolar, sus métodos, lenguaje y del valor histórico-epistemológico en la enseñanza.

La resolución de problemas científicos escolares se propone como estrategia para enfrentar algunas de las dificultades mencionadas anteriormente. Consideramos que un problema científico escolar no es un mero ejercicio en el cual el estudiante conoce los caminos cognitivos para su resolución (Labarrere, 2012). Para que un estudiante pueda resolver problemas científicos escolares auténticos, debe estar activo y ser protagonista, actor y autor de su propio aprendizaje. Por medio de este tipo de actividades el profesorado, de forma intencionada, puede ir abandonando paulatinamente los modelos tradicionales de enseñanza de las ciencias donde los aprendices solo memorizan información, resuelven ejercicios o incluso problemas repitiendo de forma mecánica las fórmulas planteadas por los profesores. La aplicación de estos modelos tradicionales y persistentes en la enseñanza de las ciencias de todos los niveles de escolaridad, no preparan a los estudiantes para resolver problemas en el mundo real, donde la mayoría de las veces un sujeto se cuestiona frente a las interrogantes qué hacer o cómo actuar frente a alguna situación nueva o desconocida.

El pensamiento del filósofo e historiador Stephen Toulmin (1977) tiene como componente principal la idea de que los conceptos se caracterizan por contar con una interacción histórico-social, en un contexto determinado. La ciencia también posee estos componentes y aparece como una disciplina intelectual que se va construyendo por las sociedades humanas a lo largo de la historia (Chamizo, 2007). Apoyándose en la historia de la ciencia, Toulmin manifiesta que la evolución de los conceptos científicos es posible gracias a la formulación de problemas que tienen sentido. En relación a la complejidad de los conceptos científicos Toulmin señala que

“Debemos distinguir 3 aspectos o elementos en el uso de tales conceptos: I) el lenguaje; II) las técnicas de representación y III) los procedimientos de aplicación de la ciencia” (1977, p. 170).

Sobre estos tres aspectos propios de los conceptos, es importante realizar algunas precisiones terminológicas. Para el primer elemento, Toulmin reconoce que cada teoría tiene un lenguaje propio que le caracteriza y que cuando se adoptan nuevos

lenguajes también influyen en el desarrollo de nuevas teorías, adquiriendo especificidades. Respecto al segundo aspecto, las técnicas de representación, Toulmin considera a los modelos como el lazo entre el mundo natural y las leyes científicas que lo explican. Estos dos componentes característicos de los conceptos permiten comunicar nuestros pensamientos, las formas simbólicas de los fenómenos científicos que al ser comunicados permiten desarrollar una cultura científica, donde hay transferencia de habilidades explicativas de una generación a otra, lo cual permite un aprendizaje de técnicas, procedimientos y métodos de representación que apunten a mantener o modificar la aclaración los de hechos y fenómenos dentro de una ciencia (Toulmin, op. cit.). Los conceptos se vuelven genuinamente explicativos cuando se aplican y se declaran en el mundo, lo que es relevante y llevable a la educación. El tercer aspecto, los procedimientos de aplicación de la ciencia, hace referencia al reconocimiento del momento propicio para la aplicación de los aspectos simbólicos de uno o más conceptos en un contexto determinado, determinar las condiciones y la exactitud de aplicar un cierto tipo de explicación del mundo natural. Finalmente Toulmin resume todo en términos de una simple relación:

Problemas = Ideales Explicativos – Capacidades Corrientes

Así llega a proponer cinco tipos de problemas conceptuales presentes en las disciplinas científicas, los cuales se describen a continuación:

- a) *La extensión de nuestros procedimientos actuales a nuevos fenómenos.* Siempre hay ciertos fenómenos que una ciencia natural puede esperar de explicar razonablemente, sin embargo, para los que no hay un procedimiento disponible que proporcione un tratamiento exitoso.
- b) *La mejora de nuestras técnicas para hacer frente a fenómenos conocidos.* Siempre hay algunos fenómenos que pueden ser explicados, hasta cierto punto, usando los procedimientos explicativos actuales.
- c) *La integración intra-disciplinaria de las técnicas dentro de una sola ciencia.* Comprender los problemas que surgen cuando consideramos la importancia mutua de los diferentes conceptos que coexisten dentro de una misma rama de la ciencia.
- d) *La integración inter-disciplinaria de las técnicas de las ciencias vecinas.* El éxito explicativo de los conceptos que coexisten en diferentes ramas de la ciencia, puede explicarse desde diferentes niveles, ángulos y naturalezas.
- e) *Las resoluciones de los conflictos entre las ideas científicas y extra-científicas.* Sobreponer los conflictos entre los conceptos y procedimientos vigentes en las ciencias especiales y las ideas y actitudes actuales de la gente en general.

Estos elementos serán aplicados en la propuesta que discutiremos a continuación.

1. La propuesta didáctica

Entender el funcionamiento del microscopio y las técnicas mínimas que son utilizadas para la observación de muestras en la biología, puede ser una manera de despertar en el estudiantado el gusto por la biología celular, microbiología y otras áreas afines, que incluyen el manejo de este instrumento científico. Como lo mencionamos anteriormente, la idea no es “ver” la muestra, aquí se necesita profundizar a través de la observación, la cual es una habilidad científica que puede ser desarrollada.

Además, es importante que el estudiantado entienda que las dificultades enfrentadas para el desarrollo del microscopio y de las técnicas utilizadas actualmente, se fueron desarrollando a medida en que surgían problemas que debían ser resueltos.

Como lo mencionamos anteriormente, el siglo XIX para la microscopia significó avances importante en lo que se refiere a la óptica y su impacto en el desarrollo de este tipo de instrumento. Sin embargo, los naturalistas que investigaban el mundo microscópico en ese siglo, enfrentaron varias dificultades para trabajar, identificar y describir muestras biológicas. Por ejemplo, una dificultad que obstaculizaba la investigación radicaba en la no eliminación del aire, en forma de burbujas existentes en las muestras. El fenómeno se puede observar en la Imagen 6.

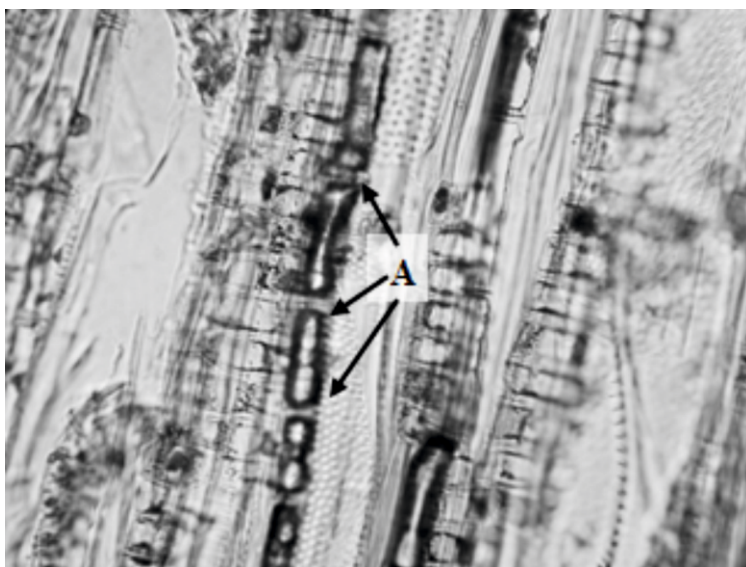


Imagen 6: Traqueidas llenas de aire (A), por lo que se ven oscuras ⁵¹

El problema de formación de burbujas de aire en las muestras actualmente se relaciona más con la habilidad del microscopista que con la técnica utilizada, sin embargo, no siempre fue así. Respecto al fenómeno descrito, existe una comunicación presentada por F. Clark en la revista *The American Naturalist*, donde se trata la problemática de las burbujas presentes en las muestras histológicas vegetales. Se presenta la problemática enfrentada en la comunicación a continuación:

“Muchas dificultades han experimentado los microscopistas al momento de remover el aire de las muestras. Por ejemplo, si se quisiera montar secciones de madera las dificultades de remoción de las burbujas aumentarían. Algunos podrían suponer que esa acción es físicamente imposible, porque hasta entonces, a pesar de todo el esfuerzo y trabajo invertido, a menos que haya un golpe de suerte (lo que es muy poco probable), las burbujas de aire aún se mantendrían en los objetos y la lámina se convertiría en una muestra sin valor, porque deja de ser un perfecto espécimen”. (Traducido y adaptado por los autores desde Clark, F. C., 1879).

⁵¹ Tomada de <http://espiadellabo.com/2012/01/xilotomia-la-microscopia-forense-de-la-madera/>.

Por la descripción presentada por el investigador, podemos verificar que este era un gran problema enfrentando en la época, a esto se juntaba la calidad de las lentes, en consecuencia se reducía significativamente la posibilidad de hacer observaciones validadas y creíbles, para la época.

A partir de este fenómeno proponemos el diseño de problemas científicos escolares por parte del profesorado (concepto-idea-pregunta problematizadora) sobre un acontecimiento histórico-científico, utilizando como instrumento una gradilla organizadora, compuesta por las tipologías de los problemas de la ciencia caracterizadas por S. Toulmin y las vías de resolución a estos problemas planteadas por el mismo autor. La organización de la Gradilla de Toulmin se puede apreciar en la Tabla 1.

Tipología del problema Vía de Resolución	Extensión de procedimientos explicativos actuales a nuevos fenómenos	Mejorar las explicaciones sobre determinados fenómenos	Integración intra-disciplinaria de las ideas dentro de una misma ciencia	Integración inter-disciplinaria de las ideas de diferentes disciplinas	Resolución de conflictos entre científicos y las ideas extra-científicas
MEJORAR LA REPRESENTACIÓN	1A	2A	3A	4A	5A
INTRODUCIR NUEVOS LENGUAJES	1B	2B	3B	4B	5B
REFINAR MÉTODOS DE INTERVENCIÓN EXPERIMENTAL	1C	2C	3C	4C	5C

Tabla 1. Gradilla de Toulmin para el diseño de problemas científicos escolares (Quintanilla, 2013)

Para que el profesorado pueda formular un problema científico escolar en función de la Gradilla de Toulmin debe, primeramente, considerar los antecedentes históricos, por ejemplo el problema de las burbujas presentado anteriormente, donde se discuten algunos temas de orden procedimental, los cuales permiten la contextualización de las preguntas tanto en un momento de la historia de la ciencia como en el aula. Junto con esto es necesario considerar los contenidos que se conectan con estos elementos que permiten contextualización; en este caso la aplicabilidad de propuesta se encuentra en los contenidos que forman parte de los planes de estudio de biología propuestos por el Ministerio de educación de Chile (MINEDUC 2009) para primer año de enseñanza media, con la unidad 1 “*Estructura y función de la célula*” y para cuarto año medio plan diferenciado de biología en la unidad 3 “*Investigación científica en biología*”.

Tomando en cuenta que tanto los contextos como los contenidos, se pueden generar preguntas para promover el pensamiento de orden superior, bajo una

perspectiva sociolingüística (Joglar y Quintanilla, 2014). Proponemos el uso de esta situación problemática enfrentada en la época descrita, para posibilitar que el estudiantado pueda intentar hacer propuestas para resolver el problema.

Con la intención de mostrar la secuencia utilizada para el diseño de las preguntas por parte del profesorado, y que forman parte del problema científico escolar, se presenta una directriz metodológica en la Tabla 2.

Paso	Actividad/Finalidad
1	Identificación de la metodología de la investigación científica según Toulmin (Tipología):
2	Identificación de un problema científico
3	Ubicación en la gradilla de Toulmin de la vía de resolución:
4	Ejemplificación:
5	Categoría de la tipología de problema y enunciado:

Tabla 2. Metodología para la formulación de un problema siguiendo las directrices de la gradilla de Toulmin (Quintanilla, op. cit.)

A modo de ejemplo, presentamos en la Tabla 3 los pasos aplicados para la formulación de problemas según la tipología 1 Extensión de procedimientos explicativos actuales a nuevos fenómenos. Note que en paso 5 de la formulación de problema se indica la tipología y la vía de resolución a modo de orientación.

Paso	Actividad/Finalidad
1	Identificación de la metodología de la investigación científica según Toulmin (Tipología): Extensión de procedimientos explicativos actuales a nuevos fenómenos (1)
2	Identificación de un problema científico
3	Ubicación en la gradilla de Toulmin de la vía de resolución: <i>Refinar los métodos de intervención experimental (C)</i>
4	Ejemplificación: En química, la identificación de una <i>nueva sustancia</i> En física, el descubrimiento de una <i>nueva estrella</i> En biología, el descubrimiento de la cepa de un <i>nuevo virus</i>
5	Categoría de la tipología de problema y enunciado: - ¿Qué <i>instrumento o metodología</i> científica propondrías para explicar la identificación de una sustancia química? → 1C - ¿Qué <i>instrumento de medición</i> específico utilizarías para explicar la magnitud de una nueva estrella? - ¿Qué <i>instrumento o metodología</i> científica propondrías para caracterizar la composición de una nueva cepa vírica?

Tabla 3. Aplicación de las directrices metodológicas para la formulación de un problema siguiendo las tipologías de la gradilla de Toulmin y las vías de resolución.

Finalmente, tomando en cuenta las consideraciones y pasos explicados anteriormente, se expone en concreto el problema científico para ser desarrollado por los estudiantes como sigue:

“Analiza el problema científico que se relata en el siguiente texto y luego responde a las preguntas que se plantean a continuación.

Muchas dificultades han experimentado los microscopistas al momento de remover el aire de las muestras. Por ejemplo, si se quisiera montar secciones de madera las dificultades de remoción de las burbujas aumentarían. Algunos podrían suponer que esa acción es físicamente imposible, porque hasta entonces, a pesar de todo el esfuerzo y trabajo invertido, a menos que haya un golpe de suerte (lo que es muy poco probable), las burbujas de aire aún se mantendrían en los objetos y la lámina se convertiría en una muestra sin valor, porque deja de ser un perfecto espécimen”. (Texto traducido y adaptado de Clark, F. C. (1879). Removal of air from microscopic specimens. The American Naturalist, Vol. 13(1), 57-60.)

Preguntas:

¿Cómo puedes explicar la aparición de burbujas en las muestras de tejido vegetal?

¿Por qué se hace necesaria la eliminación de las burbujas para el estudio de muestras microscópicas?

¿Qué instrumento o metodología científica propondrías para poder eliminar las burbujas presentes en las muestras de tejido vegetal?

A partir de esta propuesta podemos incentivar al profesorado sobre el uso e incorporación de la Historia de la Ciencia en actividades para el estudio de los contenidos científicos escolares, que se abordan en distintos niveles la Educación Media en Chile, y como esto proporciona aspectos que pueden contribuir al cambio de las concepciones y visiones tanto de los profesores de ciencia como de los estudiantes respecto a la naturaleza de la ciencia, reconociéndola como una empresa humana, realizada por personas.

El uso de problemas científicos escolares en el aula, sobre situaciones históricas reales contextualizadas, favorece la comprensión de la actividad científica. Someter al estudiante a este tipo de tareas permite la movilización de componentes cognitivos que llevan al desarrollo y enfrentamiento de modelos teóricos de la ciencia que al ser declarados por medio del lenguaje se van ajustando y permiten la comprensión de los conceptos científicos, en un contexto de ciencia escolar, que apunta a explicar el mundo y poder resolver conflictos y situaciones emergentes en el entorno.

Agradecimientos

Este capítulo sigue las orientaciones teóricas y metodológicas del **Proyecto COLCIENCIAS-CONICYT Folio: PCCII30073** y del **Proyecto de Movilidad Académica DRI-UC 024/14** que dirige el Dr. Mario Quintanilla Gatica.

Lista de referencias bibliográficas

- ACEVEDO, J. A. (1998). Tres criterios para diferenciar entre ciencia y tecnología (pp. 7-16). En E. Banet y de Pro, A. (Eds.), *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*. Vol. I. Murcia: DM.
- AGAZZI E. (1997). El impacto epistemológico de la tecnología. Universidad de Génova. Italia. Extraído de: <http://www.argumentos.us.es-/numero1/agazzi.htm>
- ALBARRACÍN, A. (1983). *La teoría celular, historia de un paradigma*. Alianza Editorial, Madrid. 298 p.
- ÁVILA, R. (2004). La observación, una palabra para desbaratar y re-significar. Hacia una epistemología de la observación. *Cinta de Moebio. Revista de Epistemología de Ciencias Sociales*. ISSN 0717-554X. Extraído de: <http://www.facso.uchile.cl/publicaciones/moebio/21/avila.htm>

- BERÓN, M. P. (s.f.) Historia de la teoría celular. Universidad Nacional de Mar del Plata. Extraído de <http://www.itescham.com/Syllabus/Doctos/r414.PDF>
- CAMACHO, J. Y QUINTANILLA, M. (2008). Resolución de problemas científicos desde la Historia de la Ciencia. Retos y desafíos para promover competencias cognitivolingüísticas en la química escolar. *Ciência y Educação*, 14 (2), 197-212.
- CHALMERS, A. (2000). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*. Buenos Aires: Siglo veintiuno de Argentina editores.
- CHAMIZO, J. A. (2007). Las aportaciones de Toulmin a la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 25, 133-146.
- CHASSOT, A. (2001). A Ciencia através dos tempos. E. Moderna. Colecao Polemica. São Paulo: Brasil. Pag. 192.
- CHIN, C. Y BROWN, D. (2002). Student-generated questions: a meaningful aspect of learning in science. *International Journal of Science Education*, 24(5), 521-549. doi: 10.1080/09500690110095249
- CHIN, C. Y OSBORNE, J. (2008). Students' questions: a potential resource for teaching and learning science. *Studies in Science Education*, 44(1), 1-39. doi: 10.1080/03057260701828101
- CLARK, F. C. (1879). Removal of air from microscopic specimens. *The American Naturalist*, Vol. 13(1), 57-60.
- COLÁS, M. (1983). La formulación de preguntas en el acto didáctico. *Revista interuniversitaria de didáctica*, 1, 77-83.
- FERNÁNDEZ, I., GIL D., CARRASCOSA, J., CACHAPUZ, A. Y PRAIA, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20, 477-488.
- GIRALDO, G. (2005). Teoría de la complejidad y premisas de legitimidad en las políticas de educación superior. *Cinta de Moebio. Revista de Epistemología de Ciencias Sociales*, 22, 46-72. Recuperado de: <http://www.facso.uchile.cl/publicaciones/moebio/22/giraldo.htm>
- HAYES, J. (1980). *The complete problem solver*. Philadelphia: The Franklin Institute.
- IZQUIERDO, M. Y CHAMIZO, J. A. (2005). Toulmin's concepts and problem characterization in chemistry and chemistry teaching. *Proceedings from 8th International History and Philosophy of Science Teaching Group International Conference*. Leeds.
- JOGLAR, C. (2014). *Elaboración de preguntas científicas escolares en clases de biología. Aportes a la discusión sobre las competencias de pensamiento científico desde un estudio de caso*. (Tesis doctoral). Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- JOGLAR, C. Y QUINTANILLA, M. (2014). Aprendiendo a promover Competencias Científicas escolares mediante el diseño de preguntas con sentido (pp. 121-152). En Quintanilla, M. (Comp.), *Las Competencias de Pensamiento Científico desde las 'emociones, sonidos y voces' del aula. Volumen 8*. Santiago: Editorial Bellaterra Ltda.

- LABARRERE, A. (2012). La solución de problemas, eje del desarrollo del pensamiento y las Competencias de Pensamiento Científico de los estudiantes en matemática y ciencias experimentales (pp. 47-82). En Quintanilla, M. (Comp.), *Las Competencias de Pensamiento Científico desde 'las voces' del aula. Volumen I*. Santiago: Editorial Bellaterra Ltda.
- MÁRQUEZ, C. Y ROCA, M. (2009). Plantear preguntas: un punto de partida para aprender ciencias. *Revista educación y Pedagogía*, 18(45), 61-71.
- MINEDUC. (2009). *Objetivos Fundamentales y Contenidos Mínimos Obligatorios de la Educación Básica y Media. Actualización 2009*. Santiago, Chile: Ministerio de Educación Extraído desde [http://www.educarchile.cl/Userfiles/P0001/File/Marco_Curricular_Ed_Basica_y_Media_Actualizacion_2009%20\(5\).pdf](http://www.educarchile.cl/Userfiles/P0001/File/Marco_Curricular_Ed_Basica_y_Media_Actualizacion_2009%20(5).pdf)
- PAPP, D. (1993). *Ideas revolucionarias en la ciencia: La ciencia clásica de Leonardo a Volta*. Tomo I. Santiago: Editorial Universitaria.
- QUINTANILLA, M. (2006). Historia de la ciencia, ciudadanía y valores: claves de una orientación realista pragmática de la enseñanza de las ciencias. *Revista Educación y Pedagogía*, 18(45), 9-23.
- QUINTANILLA, M. (2013). Utilización de la gradilla de Toulmin y de tipologías de los problemas de la ciencia para diseñar problemas científicos escolares. En *Estrategias innovadoras para la resolución de problemas científicos escolares*. (Dossier del Profesor). Curso Código SENCE. Facultad de Educación, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- RODRÍGUEZ DE RIVERA, J. (2008). Observador y observación - El nuevo enfoque en la epistemología de la complejidad. Extraído de: http://docentes2.uacj.mx/museodigital/cursos_2008/maru/02Observacion-complejidad.pdf
- ROCA, M. (2005). Las preguntas en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias. *Educar*, 33(2) 73-80.
- TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana: el uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza Universitaria.
- VÁSQUEZ, F. (2002). *La cultura como texto, lectura, semiótica y educación*. Bogotá: Universidad Javeriana.

ANEXO

Lente de Nínive: Descubierta en investigaciones arqueológicas en la ciudad de Nínive.

Microscopio compuesto, dudas cuanto a su autoría.

Microscopio de Galileo: Se observó las facetas del ojo de la abeja.

Se observó microorganismos en el agua, tierra y sangre.

M. Campana: Primer microscopio de bolsillo.

M. Van Leeuwenhoek: Se observó elementos en suspensión acuosa (infusorios, eritrocitos)

M. Hooke: Observación de celdillas de corcho, se utiliza por 1ª vez el vocablo "célula".

M. Crisóstomo: Permite realizar notables estudios de la estructura del tejido óseo.

M. Marshall: Uno de los primeros microscopios comercializados.

M. Culpeper: Permite la observación de preparaciones por transparencia.

M. Lieberkühn: Descripción de las criptas de Lieberkühn.

B Martín: Importante fabricante de instrumentos ópticos.

M. Cuff: Microscopio de gran difusión en los siglos XVIII y XIX.

Yeates: Importante fabricante de instrumentos ópticos.

M. Botánico "chest": Muy utilizado en estudios de botánica. Robert Brown lo utilizó para observar el movimiento browniano.

Lepin and Masche: firma que produjo entre otros, microscopios estudiantiles.

M. Baker: Diseñado para viaje de naturalistas.

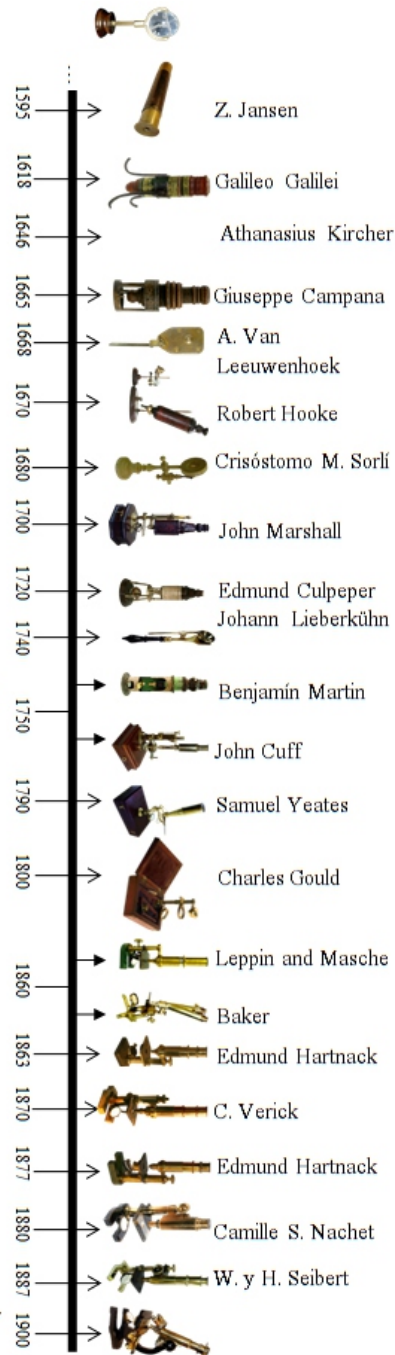
M. Verick: 1er microscopio utilizado por Santiago Ramón Cajal, importante histólogo

M. Hartnack Postdam: S. Freud amigo de Hartnack, inicio sus estudios neurológicos con exámenes histológicos del s nervioso.

M. Nacet: utilizado por Pasteur y Cajal.

M. Seibert in Wetzlar: Utilizado por Robert Kock, adaptando una cámara y edita el famoso "fotograma de bacterias"

Microscopio Actual



Capítulo 13

“Darwin teleólogo” y “el eclipse del darwinismo”: dos casos para repensar la historia del evolucionismo⁵².

Leonardo González Galli.
Universidad de Buenos Aires
Argentina

Índice

1. *La importancia de la historia de la ciencia para la enseñanza*
 2. *El “relato estándar” sobre el origen de la teoría de la evolución y las visiones deformadas de la ciencia*
 3. *Dos episodios históricos para complejizar y enriquecer la historia de la teoría evolutiva*
 4. *A modo de conclusión*
 5. *Lecturas sugeridas*
- Lista de referencias bibliográficas*

1. La importancia de la historia de la ciencia para la enseñanza

Actualmente existe un fuerte consenso sobre la importancia de incluir elementos de *naturaleza de la ciencia* (NOS) en la enseñanza. Según Adúriz-Bravo (2008) la NOS constituye:

“un conjunto de contenidos metacientíficos funcionalmente transpuestos y seleccionados por su valor para la educación científica de todos y todas”.

Se acuerda en que para pensar la enseñanza de las ciencias es necesario preguntarse qué es la ciencia y valorar las posibles respuestas a partir de una reflexión teóricamente fundamentada (Adúriz-Bravo, 2008, 2005). Dentro de la NOS Adúriz-Bravo distingue tres “ejes”: el *eje epistemológico* (que apunta a determinar qué es la ciencia y cómo se elabora), el *eje histórico* (que apunta a responder la pregunta de cómo cambia la ciencia en el tiempo) y el *eje sociológico* (que se ocupa de la cuestión de cómo se relaciona la ciencia con la sociedad y la cultura). Los análisis desde estos tres ejes se relacionan y solapan parcialmente. Así, el análisis histórico es pobre sin el auxilio de los conceptos de la epistemología y esta es “hueca” sin el contraste con la historia.

⁵² Este trabajo fue posible gracias al financiamiento del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) de Argentina y de la Universidad de Buenos Aires (UBA).

Desde esta perspectiva, se concluye entonces que es de gran importancia incorporar elementos de historia de la ciencia (HC) en las clases (Duschl. 1985; Fernández et al., 2002; Fernández González, 2000; Gagliardi, R. 1988; Gagliardi y Giordan, 1986; Milne, 2011, entre otros). Dicha incorporación tendría efectos positivos tales como atenuar el dogmatismo con que tradicionalmente se ha presentado la ciencia y generar una imagen de la ciencia y los científicos más acorde con los actuales desarrollos metacientíficos.

Sin embargo, es necesario tener ciertos cuidados a la hora de introducir elementos de HC en las clases de ciencia. En efecto, que la incorporación de la dimensión histórica resulte en una mejora en los aprendizajes dependerá fuertemente de *qué historia* de las ciencias se incluya. En este sentido, introducir análisis históricos podría ser un factor negativo si, por ejemplo, se presentaran narrativas que implicaran una distorsión de la *naturaleza de las ciencias* (Benson, 1989). Siempre que se enseñan ciencias se corre el riesgo de favorecer o reforzar las llamadas “visiones deformadas” de las ciencias (Fernández et al., 2005; Fernández et al., 2002) hoy cuestionadas desde las metaciencias. Presuntamente, la inclusión de contenidos de HC vendría a prevenir la transmisión de, al menos, una de estas “visiones deformadas”; precisamente, la visión “ahistórica” de las ciencias. Según Fernández et al. (2002), esta consiste en que:

“se transmiten conocimientos ya elaborados, sin mostrar cuáles fueron los problemas que generaron su construcción, cuál ha sido su evolución, las dificultades, etc., ni mucho menos aún, las limitaciones del conocimiento científico actual o las perspectivas abiertas”

Estos autores sugieren que, en general, esta visión se transmite por omisión, es decir, al no tratar la historia de las ciencias. Sin embargo, consideramos que incluir la dimensión histórica no evitaría necesariamente estas “deformaciones” de la imagen de ciencia. No es muy difícil imaginar (porque, lamentablemente los ejemplos abundan) narrativas históricas fuertemente empiro-inductivistas y ateóricas (otra de las “visiones deformadas” analizadas por Fernández et al.) en las que a pesar de estar presente la dimensión temporal de la construcción del conocimiento científico se ignoren los problemas que dieron origen a dicho conocimiento. Del mismo modo, un relato hagiográfico podría reforzar la visión según la cual la ciencia es una actividad individualista y elitista. En síntesis: la introducción de la HC no garantiza una mejora en relación con la NOS que transmitimos en nuestras clases. Se impone entonces, la cuestión de qué HC tomar como referencia para enseñar ciencias.

2. El “relato estándar” sobre el origen de la teoría de la evolución y las visiones deformadas de la ciencia

El caso de la teoría de la evolución es ilustrativo en relación con estos problemas. El modo en que se narra la historia de Charles Darwin y el desarrollo de la teoría de la evolución (TE) suele reforzar varias (por no decir todas) las “visiones deformadas” de la ciencia analizadas por Fernández et al. (op. cit.). Por ejemplo, es frecuente en libros de texto de nivel medio y universitario (así como en numerosos medios de divulgación) la imagen según la cual Charles Darwin fue un sujeto excepcional que en solitario, y contra todas las fuerzas reaccionarias y oscurantistas de la sociedad de su época, logró imponer la verdad de la evolución. Sin embargo, y sin negar los

indudables méritos intelectuales que como individuo tuvo Darwin, esta visión de la historia deja de lado numerosos e importantes factores contextuales que resultan imprescindibles para una mínima comprensión de la complejidad de la historia. Por ejemplo, se ignora el hecho de que así como efectivamente parte de la sociedad (por ejemplo, buena parte de la clases aristocráticas tradicionales y la jerarquía de la Iglesia) rechazaba enérgicamente el evolucionismo por considerarlo una amenaza para el *statu quo* que los favorecía (Bowler, 2013; Ruse, 1983), al mismo tiempo, otros sectores sociales como la naciente clase de científicos profesionales (de la que Thomas Henry Huxley era un notorio representante y portavoz) lo recibía con beneplácito porque lo consideraba afín a su propia cosmovisión basada en la ideología del progreso que propugnaba ciertos cambios sociales (Bowler, 2003; Ruse, 1983). Del mismo modo, se ignora habitualmente en el ámbito educativo la enorme importancia que tuvo en el desarrollo de la teoría el masivo intercambio de ideas que Darwin mantuvo con cientos de naturalistas de todo el mundo⁵³ gracias al eficaz sistema de correos de la Inglaterra victoriana (Browne, 2009). Si se toma real dimensión de este último factor cabe preguntarse en qué medida el desarrollo de esta teoría puede considerarse un logro individual y no colectivo. Este aspecto de la construcción de la teoría puede utilizarse también para analizar, más en general, cómo han cambiado los modos en que se investigaba en aquella época y cómo se hace ahora; ¿Un investigador actual escribiría pidiendo datos a otros investigadores para usarlos sin más en su propio trabajo? La época de Darwin es especialmente interesante porque en ese momento se estaba profesionalizando la investigación científica.

Analizar cómo financió Darwin sus investigaciones y cómo se financian las actuales sería otro modo de analizar estos cambios. Por mencionar solo un rasgo más de la narración estándar, el modo en el cual se relata el famoso viaje del Beagle refuerza ideas empiristas ingenuas al sugerir que Darwin, gran observador, infirió de un modo más o menos directo sus ideas a partir de sus observaciones. Como estos, podríamos comentar otros aspectos sumamente cuestionables acerca de cómo se introduce habitualmente la dimensión histórica en la enseñanza de la biología evolutiva. En síntesis, y sin hacer generalizaciones absolutas, tenemos elementos para sospechar que en el caso de la TE con frecuencia la introducción de la HC conspira contra los objetivos que, paradójicamente, inspiraron su introducción.

El relato estándar⁵⁴ de lo sucedido tras la publicación de *El Origen de las Especies* (Darwin, 2009) suele cristalizarse en una historia lineal y anacrónica en la que los hechos se ordenan unos tras otros y se presentan como una sucesión de avances que desembocan inexorablemente en los grandes logros del presente. Este enfoque

⁵³ Darwin intercambió más de catorce mil cartas con cientos de corresponsales de todo el mundo incluyendo, además de los países europeos y los Estados Unidos de América, lugares tan lejanos como Jamaica, China, Australia y Borneo (Browne, 2009). Esta correspondencia puede ser la base para actividades didácticas muy interesantes ya que permite conectar el desarrollo de la teoría con los personajes y la historia locales de diversos países. En relación con las cartas enviadas y recibidas por Darwin está accesible un valioso recurso en la web, el *Darwin Correspondence Project* (<http://www.darwinproject.ac.uk/>) en el que están disponibles más de siete mil cartas y se están agregando continuamente las transcripciones de más cartas.

⁵⁴ Por “relato estándar” nos referimos al relato habitual en el ámbito educativo (que se expresa con claridad en los libros de texto de todos los niveles) y no al relato más frecuente en el ámbito de la historia de la biología académica.

historiográfico en el que los hechos del pasado son valorados desde la perspectiva presente se ha denominado “historiografía whig” (Boido, 2008). En el caso de la TE se trata de analizar la historia como una sucesión de logros que, sin contramarchas ni ambigüedades, concluye en el gran consenso científico conocido como “Teoría sintética de la evolución” (TSE) o, simplemente, “La síntesis” (Bowler, 2003).

El principal objetivo de este artículo es explicitar –y cuestionar– dos supuestos de este relato tradicional y analizar las virtudes didácticas de utilizar una historia diferente del evolucionismo como referente para la enseñanza. De acuerdo con el primero de estos supuestos el modelo de evolución por selección natural (MESN), esto es, el principal mecanismo propuesto por Darwin para explicar el cambio evolutivo, habría supuesto la definitiva eliminación de la teleología de la biología. De acuerdo con el segundo, tras algunas décadas de ignorancia mutua y desencuentros, alrededor de 1900, el mendelismo (las ideas sobre los mecanismos de la herencia biológica derivadas de las investigaciones del monje austriaco Gregor Mendel) se habría reunido con el darwinismo (las ideas sobre la evolución derivadas de las investigaciones del naturalista inglés Charles Darwin) para dar lugar al gran consenso científico de “La síntesis”. En este artículo ofrecemos un breve análisis de dos episodios históricos que cuestionan ambos supuestos y cuya consideración en la enseñanza podría ayudar a construir una historia más compleja de la biología evolutiva que contribuyera a que los y las estudiantes construyeran una idea de la naturaleza de la ciencia más adecuada.

3. Dos episodios históricos para complejizar y enriquecer la historia de la teoría evolutiva

3.1. Contra el primer supuesto: Darwin teleólogo

De acuerdo con una interpretación muy aceptada por biólogos y profesores de biología, aunque no tanto por historiadores y filósofos de la biología, el darwinismo habría asestado un golpe mortal a la teleología en la biología (Allen et al., 1998). La teleología (o finalismo) se refiere a cualquier explicación basada en las nociones de fin, meta u objetivo (Gaeta et al., 1996). Este tipo de explicaciones es controvertido en el ámbito científico por varias razones. En primer lugar, históricamente se ha asociado con entidades sobrenaturales que serían responsables de la direccionalidad y/o intencionalidad de los procesos (Allen et al., 1998; Gaeta et al., 1996). Esto, desde ya, entra en contradicción con la metafísica científica. En segundo lugar, estas explicaciones parecieran estar en contradicción con la noción clásica de causa. Dado que los fines residen en el futuro, explicar algún suceso actual por los fines a los que responde supondría invertir la relación temporal causa / efecto (Díez y Moulines, 1999; Estany, 1993). Finalmente, estas explicaciones no se ajustan al “modelo nomológico deductivo” (basado en la deducción del hecho a explicar a partir de ciertas leyes y ciertas condiciones particulares) que fuera, durante muchos años, el modelo de explicación científica privilegiado por la filosofía de la ciencia de corte positivista (Díez y Moulines, 1999; Gaeta et al., 1996).

Históricamente, la explicación dominante de la adaptación biológica en la era pre-darwiniana era que los seres vivos eran producto del diseño divino. La “teología natural”, cuyo más conocido representante fue William Paley (Ruse, 1983), había desarrollado esta idea y, de hecho, la adaptación de los seres vivos se esgrimía como una de las pruebas de la existencia de dios, se trata de una variante del “argumento del diseño” (Dawkins, 2009; Ruse, 1983). Tal vez el mayor valor del MESN propuesto por Darwin reside, precisamente, en que por primera vez en la historia se disponía de una explicación naturalista de la adaptación biológica: Darwin convirtió a dios en una hipótesis innecesaria, al menos a la hora de explicar la adaptación (Dawkins, 2009; Dennett, 1991). Según el relato estándar, este logro intelectual supuso el fin de la teleología en la biología. Sin embargo, y sin negar el gran mérito de proponer la primera explicación naturalista para la adaptación, esta afirmación puede cuestionarse desde la filosofía de la biología (véase, por ejemplo, Caponi 2003) y desde la historia de la biología (véase, por ejemplo, Lennox, 1993). Desde la filosofía de la biología muchos autores sostienen que, aunque claramente diferentes de las explicaciones precedentes y sin tener ninguna connotación sobrenatural, las explicaciones basadas en el MESN constituyen una particular variante de la explicación teleológica (Ayala, 1999, 1998, 1995, 1970; Brandon, 1981; Caponi, 2003; Dennett, 1995, 1991; Depew, 2008; Lennox, 1994, 1993; Ruse, 2008, 2000; Short, 2002, 1983; Sober, 1996; Walsh, 2006). En otros trabajos hemos analizado las implicancias didácticas de este problema epistemológico (González Galli, 2010; González Galli y Meinardi, 2015, 2011). En este trabajo reseñaremos algunos análisis históricos y su potencial utilidad didáctica.

Darwin recurrió profusamente al lenguaje teleológico. Basta una revisión superficial de su obra para comprobarlo. Por ejemplo, en relación con el dimorfismo sexual en las plantas del género *Primula*, dice Darwin (citado por Lennox, 2013) que:

“El significado o uso de la existencia en Primula de las dos formas en número aproximadamente iguales, con su polen adaptado para la unión recíproca, es medianamente claro; a saber, favorecer el cruzamiento entre individuos distintos. Con las plantas existen innumerables artilegios (contrivances) para este fin; y nadie podrá comprender la causa final de la estructura de muchas flores son atender a este fin”.

Este pasaje es una de las numerosas ocasiones en que Darwin escribe explícitamente sobre las “causas finales” de los fenómenos orgánicos. En otro texto (también citado por Lennox, 1993) afirma que:

“Aunque un órgano podría no haber sido originalmente formado para un propósito especial, si ahora sirve para este fin, estamos justificados para decir que está especialmente adaptado para él”.

En *El Origen de las Especies* (Darwin, 2009) utiliza numerosas expresiones teleológicas que, en general, derivan de una metáfora según la cual la “naturaleza” (o la “selección natural”, como una de las principales fuerzas por medio de la cual actúa la naturaleza) *es como* un diseñador intencional. Es decir, la “naturaleza” aparece “personificada”. Así, por ejemplo, dice Darwin (op. cit.) que:

“Aun cuando la selección natural puede obrar solamente por el bien y para el bien de cada ser (...)”.

En ocasiones, y a partir de algunas observaciones críticas, Darwin hizo explícito el carácter metafórico de dichas expresiones. Las siguientes citas de *El Origen* (Darwin, 2009) ilustran este uso de expresiones teleológicas:

“La naturaleza –si se me permite personificar la conservación o supervivencia natural de los más adecuados- no atiende a nada por las apariencias, excepto en la medida que son útiles a los seres” y “Metafóricamente, puede decirse que la selección natural está buscando cada día y cada hora por todo el mundo las más ligeras variaciones; rechazando las que son malas; conservando y sumando todas las que son buenas; trabajando silenciosa e insensiblemente, cuando quiera y donde quiera que se ofrece la oportunidad, por el perfeccionamiento de cada ser orgánico en relación con sus condiciones orgánicas e inorgánicas de vida”.

Frente a las críticas por utilizar este tipo de lenguaje Darwin se defendió diciendo que:

“Todos sabemos lo que se entiende e implican tales expresiones metafóricas, que son casi necesarias para la brevedad. Del mismo modo, además, es difícil evitar el personificar la palabra Naturaleza; pero por Naturaleza quiero decir solo la acción y el resultado totales de muchas leyes naturales, y por leyes, la sucesión de hechos (...)”.

El propio término “selección” fue objeto de críticas por sus connotaciones teleológicas e intencionales y también fue defendido por Darwin (2009):

“En el sentido literal de la palabra, indudablemente, selección natural es una expresión falsa, pero ¿quién pondrá nunca reparos a los químicos que hablan de las afinidades selectivas de los diferentes elementos?”.

Como vemos, esta característica de su discurso fue percibida por algunos de sus lectores contemporáneos como problemática, lo que motivó las justificaciones por parte de Darwin aquí reproducidas.

Familiarizado con los argumentos sobre el diseño de la *teología natural*, Darwin tempranamente analizó la cuestión de si la selección natural podría o no explicar la adaptación, es decir, aquello que para los teólogos naturales solo podía explicarse mediante el diseño deliberado de origen divino. Habiendo hallado un mecanismo natural (la selección natural) capaz de explicar este fenómeno Darwin se habría preguntado si su logro suponía la eliminación de la teleología y, según Lennox (2013), su respuesta habría sido negativa. El siguiente episodio histórico abona esta interpretación. El botánico Asa Gray percibió claramente el carácter teleológico de la selección natural tal como Darwin la presentaba y en una breve reseña del trabajo de Darwin en la revista *Nature* escribió que

“(...) el gran servicio de Darwin a la Ciencia Natural fue reintroducir en ella la Teleología: de modo que en lugar de Morfología versus Teleología, tenemos Morfología casada (wedded) con Teleología”.

Mediante una carta, Darwin, le respondió que

“Lo que usted dice sobre la teleología me complace especialmente y no creo que alguien más haya notado este punto”⁵⁵.

El debate sobre cómo interpretar estas expresiones teleológicas en la obra de Darwin se ha formulado con frecuencia en términos de si dichas expresiones constituyen solo un recurso retórico metafórico o si, por el contrario, constituyen una exteriorización de la estructura profunda de los argumentos desarrollados por Darwin (Ghiselin, 1994; Lennox 1994, 1993). El mismo problema se puede plantear en relación con la biología post-darwiniana en general ya que este tipo de expresiones sigue siendo moneda corriente en los textos de biología. Frases como las siguientes son frecuentes en los libros de texto universitarios:

“Los ribosomas eucarióticos y procarióticos son muy similares en diseño y función” (Alberts et al., 1994).

“Los coágulos no son estructuras permanentes. Al contrario, están diseñados para disolverse cuando se restaura la integridad estructural de las zonas dañadas.” (Stryer, 1995).

“Las diferentes formas de estos miembros de vertebrados fueron moldeadas por la selección natural para adaptarlas para diferentes funciones.” (Hickman et al., 2003).

“En los peces la respiración acuática se ha desarrollado para servir a un fin común: dirigir una corriente de agua a través de las vascularizadas branquias. La compresión y expansión de un aparato branquial irriga las branquias de las lampreas por flujo y reflujo.” (Kardong, 1999).

“Estos enzimas específicos realizan su función de un modo tan eficaz que la frecuencia de error es menor de uno por cada cien millones de nucleótidos replicados.” (Stryer, 1995).

Vemos en estas frases términos y expresiones claramente teleológicos como “diseño”, “fin” y “(...) moldeadas por la selección natural para (...)”. También aparece el concepto de “función” que tiene connotaciones teleológicas (McLaughlin, 2003), aunque rara vez biólogos y profesores tienen conciencia de ello. Para ver cómo los razonamientos teleológicos pueden estar presentes de modos menos explícitos consideremos la última de las citas. En ella aparecen dos términos que, a primera vista podrían no ser considerados teleológicos. Nos referimos a las nociones de “error” y “eficacia”. Ninguna entidad podría cometer errores si no tuviera ciertos fines en virtud de los cuales una acción concreta podría ser evaluada como “errónea”⁵⁵. Del mismo modo, analizar la eficacia de un proceso o sistema requiere previamente definir alguna variable cuya optimización constituye la meta del proceso. Desde ya, es evidente que estos autores están utilizando estas expresiones de un modo metafórico. Sin embargo, reconocer que estas expresiones se deben a un recurso metafórico no zanja la cuestión sino que nos lleva a un nuevo problema en relación con el rol de las metáforas en las teorías científicas. Las posiciones en relación con este problema se encuentran entre dos extremos: uno según el cual las metáforas son un mero recurso heurístico y/o retórico-comunicativo eliminable y otro según el cual son parte intrínseca y no eliminable de la teoría ((Bradie, 1999; Hoffman, 1980; Ortony, 1993; Ruse, 2008, 2000).

No pretendemos en este trabajo analizar estas arduas cuestiones y, menos aún, resolverlas. El punto es señalar que, desde la perspectiva histórica, Darwin (y la mayoría de los naturalistas y biólogos antes y después de él) recurrió notoriamente al

⁵⁵ Una de las dificultades para estos análisis es que el término “teleología” tiene diversos significados y, de hecho, es probable que Gray y Darwin entendieran la teleología de modos distintos. Gray tendía a creer que dios direccionaba la aparición de las variaciones, mientras que Darwin negaba este factor sobrenatural y reducía el “nexo teleológico” a las razones que explican por qué una variante prevalece sobre las demás dadas ciertas condiciones ambientales (Caponi, 2003).

⁵⁶ Dennett (1991) analiza este problema en un capítulo titulado “La evolución, el error y la intencionalidad”.

lenguaje teleológico, que lo hizo siendo consciente de lo que implicaba y que defendió explícitamente el uso de este tipo de expresiones que consideraba metafóricas. Por lo demás, el debate está planteado: ¿Eliminó o naturalizó Darwin la teleología de la biología? (Allen, 2003; Sober, 1993). En cualquier caso, quienes consideren que efectivamente la eliminó en el terreno conceptual deberán reconocer que la conservó en el plano retórico y este es, en sí mismo, un hecho notable que requiere una explicación. Los biólogos post-darwinianos continuaron utilizando este lenguaje y lo siguen haciendo por lo que la interpretación según la cual Darwin acabó, en todo sentido, con la teleología en la biología resulta, al menos, una excesiva simplificación de la historia. Podríamos incluso decir que estamos ante una tergiversación de la historia operada con el fin de adecuarla a los ideales epistemológicos de la filosofía de la ciencia positivista y fisicalista que no acepta ninguna forma de teleología (Ruse, 2008).

Consideramos que, a los fines didácticos, la perspectiva más clara y útil en relación con estos problemas epistemológicos es asumir que el carácter teleológico de la biología (y en particular de las explicaciones derivadas del MESN) es consecuencia del recurso a la metáfora del diseño y que el recurso a dicha metáfora es *obligado*. Esta metáfora consiste en analizar a los seres vivos *como si* fueran objetos diseñados deliberadamente para alcanzar ciertos fines que, en última instancia, convergen en el fin último de sobrevivir y reproducirse (Dennett, 1995, 1991; Ruse, 2008; 2000). De este modo, desde la perspectiva didáctica, sostendremos que la clave está en explicitar esta metáfora y en analizar sus alcances y limitaciones así como en analizar, siempre de un modo explícito, las diferencias entre la teleología derivada de esta metáfora tal como aparece en la biología y la “teleología de sentido común” de los estudiantes (González Galli y Meinardi, 2011).

3.2. Por qué considerar el rol de la teleología en Darwin en las clases de biología

Creemos que tratar con los estudiantes este aspecto de los escritos y del pensamiento de Darwin puede tener mucha utilidad desde el punto de vista didáctico. Es bien sabido que un rasgo central de las concepciones alternativas de los estudiantes sobre la evolución es precisamente el carácter teleológico de las mismas (González Galli y Meinardi, 2011; Kampourakis y Zogza, 2008). Frente a este problema, una actitud muy difundida entre los educadores consiste en censurar las expresiones teleológicas: “¡No se dice ‘para’!” (Zohar y Ginossar, 1998). Sin embargo, hay evidencias para considerar que el pensamiento teleológico actúa como un *obstáculo epistemológico* para el aprendizaje de la TE y de otros modelos científicos (González Galli y Meinardi, 2011). Desde esta perspectiva, es extremadamente ingenuo considerar que la censura de las expresiones teleológicas eliminará el pensamiento del cual deriva (Astolfi y Perterfalvi, 2001). Además de imposible, tal eliminación no sería deseable si consideramos que, de acuerdo con numerosas investigaciones en psicología cognitiva, el pensamiento teleológico constituye un rasgo funcional (esto es, que permite al sujeto explicar y predecir numerosos fenómenos del mundo) y constitutivo de la cognición humana, más específicamente de la llamada “biología

intuitiva” (Carey, 1995; Evans, 2010; Keil, 2002; Kelemen, 1999; Inagaki y Hatano, 2004). Desde el marco teórico de los obstáculos para el aprendizaje el foco del trabajo didáctico debe estar en la *metacognición*: no se trata de eliminar el pensamiento teleológico de los estudiantes sino de que estos desarrollen una “vigilancia metacognitiva” (Peterfalvi, 2001) sobre este obstáculo. Esta “vigilancia” supone que los estudiantes tomen conciencia del obstáculo, pudiendo reconocerlo y controlarlo, es decir, decidiendo de un modo consciente y fundamentado en qué contextos utilizarlo y en cuáles no. Esta perspectiva está en consonancia con numerosas investigaciones en didáctica de las ciencias que convergen en señalar la importancia crucial del desarrollo de las destrezas metacognitivas como condición necesaria para el aprendizaje (Soto Lombana, 2003; Thomas, 2012; Veenman, 2012; Zohar y Dori, 2012).

Trabajar sobre los escritos de Darwin para analizar explícitamente el modo en que recurrió a las expresiones teleológicas, su carácter metafórico y las razones por las cuales, tanto en su época como en la actualidad, dichas expresiones son objeto de controversia, puede ser un modo original y efectivo para facilitar la toma de conciencia por parte de los estudiantes del modo en que ello/as utilizan estas expresiones. Algunas preguntas para orientar este tipo de actividades podrían ser: ¿En qué consisten los razonamientos teleológicos o finalistas? ¿Cómo podemos reconocerlos? ¿Por qué es cuestionado su uso? Luego se podría proponer a los estudiantes encontrar expresiones teleológicas en escritos de Darwin (abundan en *El Origen*, pero el docente podría hacer una selección de fragmentos de varias de sus obras). También sería interesante discutir cómo respondió Darwin a las críticas en relación con la teleología ya que esto permitiría analizar el rol de la metáfora en la ciencia (como referencia para los docentes es especialmente recomendable Ruse, 2008).

Puede ser útil, para este fin considerar que las metáforas pueden cumplir diferentes roles en la ciencia. Ruse (1994), por ejemplo, distingue las funciones heurística, cognitiva y retórica de las metáforas. Una pregunta interesante para debatir es ¿La metáfora es parte de la teoría? o ¿Si elimináramos la metáfora tendríamos la misma teoría? Tras haber realizado actividades para expresar sus concepciones alternativas sobre la evolución adaptativa, los estudiantes podrían buscar en sus propios escritos expresiones teleológicas para luego discutir a partir de la pregunta ¿Qué similitudes y diferencias hay en el modo en que Darwin utilizaba estas expresiones y el modo en que ustedes lo hacen? Como guía para este trabajo didáctico, cabe señalar que las intuiciones teleológicas de los estudiantes son diferentes de las explicaciones teleológicas basadas en el MESN. En el primer caso, el “nexo teleológico” reside en el origen de las variaciones heredables (los estudiantes consideran que las mutaciones se producen según las necesidades de los organismos) mientras que en el segundo caso el “nexo teleológico” reside en la razón por la cual una variante de un rasgo incrementa su frecuencia en la población (Caponi, 2003).

3.3. Contra el segundo supuesto: El “eclipse del darwinismo”

La expresión “eclipse del darwinismo” (ED) fue acuñada por Julian Huxley (1965) en su libro clásico “La evolución. Síntesis moderna” (del título de este libro deriva también la clásica denominación “teoría sintética de la evolución”) y fue tomada y difundida luego por el historiador de la biología Peter Bowler (1985). El ED se refiere a un período que se extiende aproximadamente desde 1900 hasta 1930 (hasta la consolidación de “La Síntesis”) durante el cual el evolucionismo gozó de una creciente aceptación al tiempo que declinaba la popularidad de la selección natural como principal mecanismo evolutivo. Darwin tuvo un notable éxito en relación con la aceptación de evolucionismo. Sin embargo, la suerte del darwinismo (entendido en este contexto como el supuesto de que la selección natural es el principal mecanismo evolutivo) fue menos feliz. Tras un momento de relativo éxito en torno a 1890, la popularidad del concepto de selección natural fue en declive hasta *La Síntesis*. Tal como ya señalamos, las narrativas educativas suelen ignorar este período de descrédito del darwinismo para construir una historia lineal que une a Darwin con *La Síntesis*. Incluso los propios historiadores de la biología profesionales han tendido a prestar poca atención a este momento histórico (Bowler, 2003).

Durante el ED prosperaron diversas teorías evolucionistas anti-darwinianas, esto es, teorías que rechazaban la validez de la selección natural o la consideraban una fuerza evolutiva menor. Podemos, muy esquemáticamente, caracterizar tres grandes grupos de teorías evolutivas anti-darwinianas: el neo-lamarckismo, la ortogénesis y el mutacionismo (Bowler, 2003, 1983). Cada una de estas corrientes del evolucionismo incluye a diversos autores con sus respectivas teorías específicas. Las diferencias entre estas teorías son con frecuencia sutiles y, en ocasiones, pocas claras, por lo que la caracterización que sigue supone necesariamente una fuerte simplificación y pretende ser una referencia de base para el/la profesor/a.

Las perspectivas neo-lamarckianas y ortogenéticas se combinaron en ocasiones en teorías particulares. Ambos conjuntos de teorías daban más peso que el darwinismo a la teleología ya que negaban que el ciego proceso de prueba y error de la selección fuera importante (y esta puede ser una de las principales razones de su popularidad frente al darwinismo). Estaban, además, relacionadas con perspectivas recapitulacionistas basadas en la analogía entre el proceso de desarrollo ontogenético del individuo y el desarrollo filogenético de los linajes. También tenían vínculos conceptuales con la escuela de los morfólogos continentales que, en oposición a los naturalistas de campo como Darwin, desatendía los análisis funcionalistas y concedía una gran importancia a la influencia de las formas de los organismos en la evolución. En consonancia con este desprecio por la selección natural y dejando de lado el interés por la adaptación, gran parte de la investigación sobre la evolución se centró, durante el ED, en reconstruir “el árbol de la vida”, empresa en la que el concepto de selección natural no cumplió rol alguno.

Por “neo-lamarckismo”⁵⁷ entendemos un conjunto de teorías que consideraron que los mecanismos de uso y desuso de las estructuras orgánicas y la herencia de los caracteres adquiridos constituían el principal mecanismo evolutivo. Entre los más destacados neo-lamarckianos podemos mencionar a Herbert Spencer cuyo “darwinismo social” era, claramente, más lamarckiano que darwiniano y al escritor Samuel Butler. Por su parte, las teorías ortogenéticas⁵⁸ suponían que la explicación de la evolución residía en ciertas tendencias intrínsecas y no adaptativas que impulsaban a los linajes en procesos lineales de cambio. Esta perspectiva fue especialmente popular entre los paleontólogos que identificaban –retrospectivamente– tendencias evolutivas para las cuales, muchas veces, no lograban concebir una razón adaptativa. Entre los ortogenetistas podemos mencionar a Carl von Nägeli (y su teoría del “principio interno hacia la perfección”), Theodor Eimer y Alpheus Hyatt. Este último autor, por ejemplo, sostenía que los cambios iniciados por procesos adaptativos de tipo lamarckiano proseguían más allá del punto de máxima utilidad, llevando a la especie por sendas no adaptativas y, finalmente, a una “senilidad racial” que culminaba con la extinción. En las ideas de Hyatt vemos cómo el neo-lamarckismo podía combinarse con la ortogénesis y cómo estaba presente también el recapitulacionismo.

Una mención aparte merece el “mutacionismo”. Estas corrientes anti-darwinianas son especialmente pertinentes, dado el objetivo de este trabajo, porque son tributarias del mendelismo que actualmente vemos como obviamente compatible y complementario al darwinismo. Sin embargo, este maridaje entre mendelismo y darwinismo constituye el estadio final de un tortuoso proceso histórico que comenzó con un abierto enfrentamiento entre ambas escuelas de pensamiento (Bowler, 2003). Los primeros desarrollos teóricos tras el redescubrimiento de Mendel⁵⁹ se combinaron con teorías saltacionistas (esto es, teorías que negaban el gradualismo del cambio evolutivo explícitamente asumido por Darwin) que retomaban ideas propuestas por el naturalista francés Geoffroy Saint-Hilaire. Hugo de Vries, uno de los “redescubridores” de Mendel abandonó luego el mendelismo para desarrollar una “teoría de la mutación” capaz de explicar el cambio evolutivo.

Para este autor las formas mutantes solo se reproducían entre sí, formando por “saltación” (en un único evento, sin estadios intermedios) nuevas variedades e incluso nuevas especies a partir de la especie ancestral. Basado en sus estudios experimentales con variedades de plantas de Vries llegó a creer que un único evento mutacional podría

⁵⁷ Esta caracterización aleja al neo-lamarckismo de las ideas del propio Lamarck. La teoría de Lamarck tenía dos componentes: una tendencia intrínseca y lineal del cambio orgánico hacia las formas superiores y, por otro lado, el uso y desuso y la herencia de los caracteres adquiridos. En el esquema lamarckiano, este segundo mecanismo era claramente secundario y permitía explicar ciertas desviaciones (consecuencia de los cambios ambientales) de la senda lineal marcada por el primer mecanismo de cambio ascendente (Gould, 2004). Suele considerarse que este segundo mecanismo explica la adaptación (Gould, op. cit.), pero esta interpretación “adaptacionista” de la teoría de Lamarck es cuestionable (Caponi, 2007).

⁵⁸ Para un análisis accesible de un ejemplo paradigmático de presunta evolución ortogenética véase el artículo de Stephen Gould “El mal llamado, mal tratado y mal comprendido alce irlandés” (Gould, 2010).

⁵⁹ Según el relato oficial, alrededor de 1900 tres biólogos (Carl Correns, Hugo de Vries y Eric Von Tschermak) llegaron a resultados experimentales semejantes a los de Mendel de un modo independiente. Sin embargo, algunos autores han cuestionado este relato al poner en discusión en qué medida los hallazgos de estos investigadores son asimilables a los de Mendel (Lorenzano, 2008). Este es otro caso, entonces, para tomar como objeto de análisis en las clases. Nuevamente, estos análisis cuestionan la visión lineal y continuista de la HC.

generar instantáneamente una nueva especie. Aunque de Vries no concibió su teoría como totalmente alternativa al darwinismo, ya que creía que a largo plazo solo aquellas variedades mutantes que conferían ventajas persistirían, su teoría ganó difusión como una alternativa anti-darwiniana. Muchos, como el genetista americano Thomas Hunt Morgan, creían que de Vries se equivocaba al reservar algún rol a la selección. Estas ideas dieron lugar a una controversia entre los “mendelianos” que creían que la variación discreta producto de las mutaciones por sí sola podía explicar el cambio evolutivo y los “biometristas” que estudiaron la herencia de los caracteres cuantitativos y defendieron al darwinismo durante el ED. Los biometristas aplicaron métodos estadísticos para analizar la distribución de la variación en las poblaciones y los efectos de la selección sobre esta distribución. Esta escuela de investigación fue iniciada por Francis Galton, primo de Charles Darwin. Dos destacados seguidores de Galton fueron W. Weldon (que estudió la selección tomando datos en poblaciones silvestres) y K. Pearson (que aportó el “aparato matemático” para analizar los datos cuantitativos). Así, mientras los biométricos se enfocaron en la variación continua (requisito para la evolución *a la* Darwin) los mendelianos se centraron en la variación discontinua (que servía de base a las teorías saltacionistas).

De este modo, *La Síntesis* solo pudo tener lugar cuando, por diversas razones (metodológicas, conceptuales, etc.) que no analizaremos aquí el neolamarckismo y la ortogénesis fueron abandonados (casi) totalmente al tiempo que diferentes investigadores defendieron que los principales postulados de la genética de base mendeliana eran compatibles y complementarios con la teoría de la selección natural. Este momento de la historia es parte del “relato estándar” y, por lo tanto, es más conocido, motivo por el cual no nos extenderemos aquí sobre este tema.

3.4. Por qué considerar “el eclipse del darwinismo” en las clases de biología

Analizar con los estudiantes una historia del evolucionismo que incluya un trabajo sobre el “eclipse del darwinismo” tiene, creemos, múltiples virtudes desde el punto de vista didáctico. En primer lugar, contra la visión dominante de un relato lineal y continuista revela una historia marcada por rupturas y discontinuidades. Permite, así, cuestionar la “concepción meramente acumulativa”⁶⁰ del desarrollo científico” mencionada por Fernández et al. (2002). Esta perspectiva más rupturista puede analizarse también en términos de “obstáculos epistemológicos” (Bachelard, 2004, 1989). Podría considerarse, por ejemplo, que la construcción del evolucionismo actual, expresado en *La Síntesis*, solo pudo tomar forma cuando se superó cierta noción de progreso biológico⁶¹ que impedía aceptar un proceso de base azarosa como la selección natural.

⁶⁰ Como otras concepciones de los estudiantes que podrían considerarse cuestionables (en este caso desde las metaciencias), la visión acumulativa de la construcción del conocimiento científico no está totalmente ausente en profesores y científicos. Zeigler (2012), por ejemplo, sugiere la necesidad de enseñar, a través del caso de la teoría evolutiva, la naturaleza acumulativa del conocimiento científico. Aunque se pueda reconocer la existencia de un factor acumulativo, en todo caso, así es como los estudiantes suelen concebir la ciencia, por lo que resulta discutible que sea necesario reforzar ese aspecto de las concepciones de los estudiantes sobre la ciencia.

⁶¹ Sin embargo, la cuestión del progreso en el evolucionismo es compleja y no puede afirmarse sin más que dicha noción no juegue rol alguno en la actualidad. Al respecto puede consultarse Ruse (1996).

Podemos sugerir algunas preguntas disparadoras para el diseño de actividades. Por ejemplo ¿Por qué Darwin habrá tenido más éxito para que se aceptara la idea de evolución que la de selección natural? Algunos análisis sugieren que la idea de evolución era conveniente para aquellos que sostenían la ideología del progreso mientras que la idea de selección natural no lo era. En efecto, la ideología del progreso requiere un mundo cambiante pero el mecanismo ciego de ensayo y error propuesto por Darwin sugiere un cambio sin sentido ni dirección a mediano y largo plazo que difícilmente podría servir de sustento biológico para un proceso de cambio progresivo general cuya máxima expresión fuera la aparición del ser humano (Bowler, 2003). Thomas Henry Huxley (el famoso “bulldog de Darwin”), por ejemplo, tuvo poca confianza en el mecanismo de selección natural pero adoptó y defendió enérgicamente el evolucionismo como una herramienta para lograr apoyo público para la ciencia (Bowler, 2005). En consonancia con estos análisis Bowler (1983) señala que un rasgo común a todas las alternativas al darwinismo que florecieron durante el ED era que tenían un componente teleológico más marcado. La preservación de la teleología en el concepto de progreso puede haber hecho más aceptable la transición hacia el evolucionismo actual (Bowler, 2005).

Este análisis constituye una buena oportunidad para involucrar a los estudiantes en una discusión sobre el peso relativo de los valores epistémicos (coherencia, capacidad predictiva, etc.) y los valores no-epistémicos (religión, ideología, etc.) en la historia de la ciencia en general y de la teorías de la evolución en particular (Ruse, 2001). Dicho análisis ayudaría a poner en duda la visión racionalista extrema de corte positivista de la ciencia.

Por otro lado, este tópico permite abordar de un modo más complejo el problema del debate entre el evolucionismo y el autodenominado “creacionismo científico” (o su última versión llamada “teorías del diseño inteligente”). En el contexto de este problema los creacionistas suelen lanzar la acusación según la cual el darwinismo es un dogma que se ha impuesto en el ámbito científico no tanto por sus méritos epistémicos (el apoyo obtenido de las evidencias empíricas, su coherencia interna y externa, su poder predictivo, etc.) sino más bien por su valor instrumental en la “batalla cultural” del materialismo contra la religión (Bowler, 1983). De hecho, es frecuente la afirmación de acuerdo con la cual el evolucionismo, y especialmente el darwinismo, constituyen una suerte de “religión alternativa”. Sin embargo, el análisis del ED muestra que el darwinismo solo se impuso en el ámbito científico después de décadas de debates e incluso en contra de los prejuicios ideológicos que llevaron a su rechazo inicial.

4. A modo de conclusión

El reconocimiento de la necesidad de tener en cuenta la historia de la ciencia para la enseñanza plantea el problema de qué HC tomar como referente. Tener presentes las “visiones deformadas” de la ciencia que solemos transmitir en la enseñanza puede constituir una referencia útil a la hora de evaluar qué episodios y aspectos de la HC podrían ser de utilidad didáctica. Así, un criterio podría ser privilegiar episodios y

narrativas históricas que sirvieran como base para generar en las clases debates que permitan poner en discusión algunas “visiones deformadas”. Otro modo de expresar este criterio es decir que se busca analizar casos que permitan explicitar, poner y discusión y desestabilizar ciertas concepciones alternativas que los estudiantes tienen sobre la naturaleza de la ciencia. En este trabajo sugerimos que el período denominado “el eclipse del darwinismo” permitiría poner en discusión ciertas visiones deformadas de la ciencia de las que, muy probablemente, muchos estudiantes participen. Las ideas erróneas sobre la ciencia que más directamente podemos poner en cuestión a partir de este caso son la “concepción aporreada y ahistórica de la ciencia” (*La Síntesis* aparece como la resultante de diversas corrientes históricas que por momentos divergieron en función de sus diversos intereses y supuestos), “una concepción meramente acumulativa del desarrollo científico” (el mendelismo que inicialmente da lugar a teorías anti-darwinianas luego se revela compatible y complementario con el darwinismo) y “una visión descontextualizada, socialmente neutra de la actividad científica” (valores no epistémicos, como la ideología del progreso, pueden explicar, al menos parcialmente, la rápida aceptación del evolucionismo y la tardía aceptación del darwinismo).

Otro criterio puede ser elegir episodios, aspectos y narrativas que permitan explicitar, poner en discusión y desestabilizar concepciones alternativas de los estudiantes sobre los contenidos disciplinares, en este caso la evolución. Esta sugerencia se basa en cierta analogía entre las concepciones de los estudiantes y algunas ideas de la HC (De Vecchi y Giordan, 2006; Posada, 2000; Pozo y Gómez Crespo, 2004). Aunque esta analogía ha sido justamente criticada (Driver et al., 1992 y Johsua y Dupin, 2005) aún podemos identificar algunos aspectos puntuales comunes a ambos sistemas conceptuales. Sugerimos aquí que el análisis del recurso de Darwin a las expresiones teleológicas podría servir de punto de partida para un análisis explícito del rol de la teleología en las concepciones de los estudiantes. Partiendo del supuesto de que este lenguaje constituye la expresión de un razonamiento metafórico (basado en la metáfora del diseño) este análisis permitiría además discutir, más en general, el rol de las metáforas en la ciencia.

En este trabajo nos limitamos a señalar algunas ideas generales que podrían guiar el diseño de actividades concretas para trabajar estos temas con estudiantes de biología. Consideramos que una condición previa para este diseño lo constituye un trabajo más minucioso y riguroso de transposición. Especialmente en el caso del “eclipse del darwinismo”, dada la mencionada ausencia del tema en los libros de texto y de divulgación, no se dispone de un relato riguroso y accesible para estudiantes no especializados en temas históricos. Solo se dispone de textos especializados y más bien complejos (Bowler, 2005, 2003, 1983). Está pendiente, por tanto, la escritura de un material que sirva de base adecuada para trabajar este tema con los estudiantes. El caso de la teleología también es complejo (Caponi, 2003; Ruse, 2008, 2000) y se requeriría un trabajo de transposición. Por supuesto, es posible –y deseable– que sean los mismos profesores y profesoras quienes construyan sus propias versiones de estos problemas a partir de un análisis detallado de las fuentes citadas, aunque la cantidad y complejidad de estas fuentes dificulta esta tarea. Esperamos que este trabajo sirva de

invitación para profesores e investigadores para profundizar en los temas analizados y generar y poner a prueba unidades didácticas que incluyan actividades basadas en estos análisis. Más en general, este trabajo pretende motivar a los docentes a explorar la historia de sus respectivas disciplinas científicas en busca de aspectos y episodios que, aunque ignorados por los estereotipados relatos de los libros de textos, sirvan para potenciar un aprendizaje más rico desde la perspectiva de la naturaleza de la ciencia. La invitación está hecha. Serán los profesores y profesoras, juntos con sus estudiantes, quienes dirán si estas sugerencias resultan útiles para facilitar una evolución positiva de la imagen de ciencia y de científico de los estudiantes y, en última instancia, un mejor aprendizaje de la biología evolutiva.

5. Lecturas sugeridas

Como mencionamos, la literatura sobre los temas aquí tratados es vasta y compleja. Nos limitamos aquí a recomendar unas pocas fuentes para cada uno de los dos grandes temas analizados. Para el problema de la teleología sugerimos el debate sostenido entre Lennox (1994, 1993) y Ghiselin (1994) en la revista especializada *Biology and Philosophy*. También es aconsejable el artículo de Caponi (2003) “Darwin: entre Paley y Demócrito” y el libro de Michael Ruse (2008) *Darwin*. Para el problema del “eclipse del darwinismo” la referencia clásica (que, además, es un texto accesible) es el libro de Peter Bowler (1983) “El eclipse del darwinismo”. El mismo autor analiza más ampliamente la historia del evolucionismo en *Evolution* (Bowler, 2003) y revisa el tema del eclipse en un artículo posterior del *Journal of the History of Biology* titulado *Revisiting the Eclipse of Darwinism* (Bowler, 2005).

Lista de referencias bibliográficas

- ADÚRIZ-BRAVO, A. (2005). Una introducción a la naturaleza de la ciencia. La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturaleza. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. (2008). 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 (pp. 115-129). Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- ALBERTS, B., BRAY, D., LEWIS, J., RAFF, M., ROBERTS, K. Y WATSON, J. (1994). *Molecular Biology of the Cell*. New York: Garland Publishing.
- ALLEN, C., BEKOFF, M. Y LAUDER, G. (1998). *Nature's purposes. Analyses of Function and Design in Biology*. Cambridge: MIT Press.
- ASTOLFI, J. Y PETERFALVI, B. (2001). Estrategias para trabajar los obstáculos: dispositivos y resortes. En Camilloni, A. (Ed.), *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza* (pp. 191-223). Barcelona: Gedisa.
- AYALA, F. (1970). Teleological explanations in evolutionary biology. *Philosophy of Sciences*, 37(1), 1-15.
- AYALA, F. (1995). The Distinctness of Biology. En Weinert, F. (Ed.), *Laws of Nature: Essays on the Philosophical, Scientific and Historical Dimensions* (pp. 268-288). New York: Walter de Gruyter.

- AYALA, F. (1998). Teleological Explanations versus Teleology. *History and Philosophy of the Life Sciences*, 20(1), 41-50.
- AYALA, F. (1999). Adaptation and Novelty: Teleological Explanations in Evolutionary Biology. *Studies in History and Philosophy of Biology and Biomedical Sciences*, 21(1), 3-33.
- BACHELARD, G. (2004). La formación del espíritu científico. Contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo. México DF: Siglo XXI.
- BACHELARD, G. 1989. Epistemología. Barcelona: Anagrama.
- BENSON, G. D. (1989). The misrepresentation of science by philosophers and teachers of science. *Synthese*, 80(1), 107-119.
- BOIDO, G. (2008). Noticias del planeta Tierra. Galileo Galilei y la revolución científica. Buenos Aires: AZ Editora.
- BOWLER, P. (1985). El eclipse del darwinismo. Teorías evolucionistas antidarwinistas en las décadas en torno a 1900. Barcelona: Labor.
- BOWLER, P. (1998). Historia Fontana de las ciencias ambientales. México: Fondo de Cultura Económica.
- BOWLER, P. (2003). Evolution. The History of an Idea. Berkeley: University of California Press.
- BOWLER, P. (2005). Revisiting the Eclipse of Darwinism. *Journal of the History of Biology*, 38(1), 19-32.
- BOWLER, P. (2013). Darwinism in Britain. En Ruse, M. (Ed.), *The Cambridge Encyclopedia of Darwin and Evolutionary Thought* (pp. 218-225). Cambridge: Cambridge University Press.
- BRADIE, M. (1999). Science and Metaphor. *Biology and Philosophy*, 14(2), 159-166.
- BRANDON, R. (1981). Biological teleology: Questions and explications. *Studies in History and Philosophy of Science*, 12(2), 91-105.
- BROWNE, J. (2009). Charles Darwin. El poder del lugar. Valencia: Universidad de Valencia.
- CAPONI, G. (2003). Darwin: entre Paley y Demócrito. *História, Ciências, Saúde. Manguinhos*, 10(3), 993-1023.
- CAPONI, G. (2007). Contra la lectura adaptacionista de Lamarck. En Rosas, A. Filosofía, darwinismo y evolución (pp. 3-17). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- CAREY, S. (1995). On the origin of causal understanding. En Sperber, D., Premak, D. y Premak, A. (Eds.), *Causal Cognition: A Multidisciplinary Debate* (pp. 268-308). New York: Oxford University Press.
- DARWIN, C. (2009). El origen de las especies por medio de la selección natural. Madrid: Alianza.
- DAWKINS, R. (2009). El espejismo de Dios. Madrid: Espasa.
- DE VECCHI, G. Y GIORLAN, A. (2006). Guía práctica para la enseñanza científica. Sevilla: Díada.
- DENNETT, D. (1991). La actitud intencional. Barcelona: Gedisa.
- DENNETT, D. (1995). Darwin's dangerous idea: Evolution and the meanings of Life. Nueva York: Simon and Schuster.

- DEPEW, D. (2008). Consequence etiology and biological teleology in Aristotle and Darwin. *Studies in History and Philosophy of Biology and Biomedical Sciences*, 39(4), 379-390.
- DÍEZ, J. Y MOULINES, C. (1999). Fundamentos de Filosofía de la Ciencia. Barcelona: Ariel.
- DRIVER, R., GUESNE, E. Y TIBERGHIE, A. (1992). Ideas científicas en la infancia y la adolescencia. Madrid: Morata.
- DUSCHL, R. (1985). Science Education and Philosophy of Science Twenty –Five Years of Mutually Exclusive Development. *School Science and Mathematics*, 85(7), 541-555.
- ESTANY, A. (1993). Introducción a la filosofía de la ciencia. Barcelona: Grijalbo-Mondadori.
- EVANS, M. (2010). Conceptual Change and Evolutionary Biology: A Developmental Analysis. En Vosniadou, S. (Ed.) *International Handbook of Research in Conceptual Change* (pp. 263-294). Nueva York: Routledge.
- FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, M. (2000). Fundamentos históricos. En Perales Palacios, J. y Cañal de León, P. (Dir.), *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (pp. 65-83). Alcoy: Marfil.
- FERNÁNDEZ, I., GIL PÉREZ, D., VALDÉS, P. Y VILCHES, A. (2005). ¿Qué visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos? En Gil Pérez, D., Macedo, B., Martínez Torregrosa, J., Sifredo, C. Valdés, P. y Vilches, A. (Eds.), *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica funda para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años* (pp. 29-62). Santiago de Chile: OREALC/UNESCO.
- FERNÁNDEZ, I., GIL, D., CARRASCOSA, J. CACHAPUZ, A. Y PRAIA, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 20(3), 477-488.
- GAETA, R., GENTILE, N., LUCERO, S. Y ROBLES, N. (1996). Modelos de explicación científica. Problemas epistemológicos de las ciencias naturales y sociales. Buenos Aires: EUDEBA.
- GAGLIARDI, R. (1988). Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 6(3), 291-296.
- GAGLIARDI, R. Y GIORDAN, A. (1986). La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 4(3), 253-258.
- GHISELIN, M. (1994). Darwin's Language may Seem Teleological, but his Thinking is Another Matter. *Biology and Philosophy*, 9(4), 489-492.
- GONZÁLEZ GALLI, L. (2010). La teoría de la evolución. En Meinardi, E. (coord.), *Educación en Ciencias* (pp. 225-259). Buenos Aires: PAIDÓS.
- GONZÁLEZ GALLI, L. AND MEINARDI, E. (2011). The Role of Teleological Thinking in Learning the Darwinian Model of Evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 4(1), 145-152.
- GONZÁLEZ GALLI, L. AND MEINARDI, E. (2015). Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural en estudiantes de escuela secundaria de Argentina. *Ciência & Educação*. En prensa.

- GOULD, S. (2004). *La Estructura de la Teoría Evolutiva*. Barcelona: Tusquets.
- GOULD, S. (2010). *Desde Darwin. Reflexiones sobre historia natural*. Barcelona: Crítica.
- HICKMAN, C., ROBERTS, L. Y LARSON, A. (2003). *Principios Integrales de Zoología*. Madrid: McGraw-Hill– Interamericana.
- HOFFMAN, R. (1980). Metaphor in Science. En Honeck, R. y Hoffman, R. (Eds.), *Cognition and Figurative Language* (pp. 393-423). Hillsdale: Lawrence Earlbaum Associates.
- HUXLEY, J. (1965). *La evolución. Síntesis moderna*. Buenos Aires: Losada.
- INAGAKI, K Y HATANO, G. (2004). Vitalistic causality in Young children's naive biology. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 8(8), 356-361.
- KAMPOURAKIS K. Y ZOGZA, V. (2008). Students' intuitive explanations of the causes of homologies and adaptations. *Science & Education*, 17(1), 27-47.
- KARDONG, K. (1999). *Vertebrados. Anatomía comparada, function, evolución*. Madrid: McGraw-Hill– Interamericana.
- KEIL, F. (2002). El nacimiento y enriquecimiento de conceptos por dominios: el origen de los conceptos de seres vivientes. En Hirschfeld, L. y Gelman, S. (Comp.), *Cartografía de la mente. La especificidad de dominio en la cognición y en la cultura*. Vol. I. Orígenes, procesos y conceptos (pp. 329-358). Barcelona: Gedisa.
- KELEMEN, D. (1999). Function, goals and intention: children's teleological reasoning about objects. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(12), 461-468.
- LENNOX, J. (1993). Darwin was a teleologist. *Biology and Philosophy*, 8(4), 409-421.
- LENNOX, J. (1994). Teleology by Another Name: A replay to Ghiselin. *Biology and Philosophy*, 9(4), 493-495.
- LENNOX, J. (2013). Darwin and Teleology. En Ruse, M. (Ed.), *The Cambridge Encyclopedia of Darwin and Evolutionary Thought* (pp. 152-157). Cambridge: Cambridge University Press.
- LORENZANO, P. (2008). ¿El redescubrimiento o la reinterpretación del trabajo de Mendel? En Curtis, H., Barnes, S., Schnek, A. y Massarini, A., *Biología* (pp. 154). Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
- MCLAUGHLIN, P. (2003). *What Functions Explain. Functional Explanation and Self-Reproducing System*. Cambridge: Cambridge University Press.
- MILNE, C. (2011). *The Invention of Science. Why the History of Science Matters for the Classroom*. Rotterdam: Sense Publishers.
- ORTONY, A. (Ed.). (1993). *Metaphor and Thought*. Cambridge: Cambridge University Press.
- PETERFALVI, B. (2001). Identificación de los obstáculos por parte de los alumnos. En Camilloni, A. (Ed.), *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza* (pp. 127-168). Barcelona: Gedisa.
- POSADA, J. (2000). El estudio didáctico de las ideas previas. En Perales Palacios, J. y Cañal de León, P. (Dir.), *Didáctica de las ciencia experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (pp. 363-388). Alcoy: Marfil.
- POZO, J. Y GÓMEZ CRESPO, M. (2004). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.

- RUSE, M. (1983). La revolución darwinista. Madrid: Alianza.
- RUSE, M. (1994). Tomándose a Darwin en serio. Barcelona: Salvat.
- RUSE, M. (2000). Teleology: Yesterday, Today, and Tomorrow? *Studies in History and Philosophy of Biological & Biomedical Sciences*, 31(1), 213-232.
- RUSE, M. (2001). El misterio de los misterios ¿Es la evolución una construcción social? Barcelona: Tusquets.
- RUSE, M. (2006). *Monad to Man: The Concept of Progress in Evolutionary Biology*. Cambridge: Harvard University Press.
- RUSE, M. (2008). Charles Darwin. Buenos Aires: Katz.
- SHORT, T. (1983). Teleology in nature. *American Philosophical Quarterly*, 20 (4), p. 311-319.
- SHORT, T. (2002). Darwin's concept of final cause: neither new nor trivial. *Biology and Philosophy*, 17 (3), p. 322-340.
- SOBER, E. (1996). Filosofía de la biología. Madrid: Alianza.
- SOTO LOMBANA, A. (2003). Metacognición. Cambio conceptual y enseñanza de las ciencias. Bogotá: Magisterio.
- STRYER, L. (1995). Bioquímica. Barcelona: Reverté.
- THOMAS, G. (2012). Metacognition in Science Education: Past, Present and Future Considerations En Fraser, B., Tobin, K. y McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 131-144). Londres: Springer.
- VEENMAN, M. (2012). Metacognition in Science Education: Definitions, Constituents, and Their Intricate Relation with Cognition. En Zohar, A. y Dori, Y. (Eds.), *Metacognition in Science Education* (pp. 21-36). Trends in Current research. Londres: Springer.
- WALSH, D. (2000). Chasing Shadows: Natural Selection and Adaptation. *Studies in History and Philosophy of Sciences*, 31(1), 135-153.
- ZEIGLER, D. (2012). Evolution and the Cumulative Nature of Science. *Evolution Education & Outreach*. 5, p. 585-588.
- ZOHAR, A. Y DORI, Y. (Eds.). (2012). *Metacognition in Science Education*. Trends in Current research. Londres: Springer.
- ZOHAR, A. Y GINOSSAR, S. (1998). Lifting the Taboo Regarding Teleology and Anthropomorphism in Biology. Education-Heretical Suggestions. *Science Education*, 82(6), 679-697.

Capítulo 14

La membrana plasmática. El desarrollo histórico del modelo y su uso en el aula.

Carol Joglar Campos.

Universidad de Chile y Universidad Central de Chile
Chile

Ma. Verónica Astroza I.

P. Universidad Católica de Chile
Chile

Ricardo de la Fuente O.

P. Universidad Católica de Chile
Chile

Paula Cekalovic.

Saint George's College y Laboratório G.R.E.C.I.A
Chile

Prof. Ana Maria Rocca

Laboratório G.R.E.C.I.A
Chile

Índice

Introducción

- 1. El modelo de Membrana Plasmática: antecedentes, estructuración y avances hacia su consolidación.*
- 2. Las preconcepciones del estudiantado acerca de la membrana plasmática. Aportes de la Historia de la Ciencia*
- 3. El uso de la historia de la membrana plasmática en la clase de biología*
- 4. Relato de la experiencia*
- Lista de referencias bibliográficas*

Introducción

La implementación de las metaciencias tales como la Historia y la Filosofía de la ciencia, en la formación y desarrollo del profesorado de ciencias en general y en profesores de biología, en particular, es un requerimiento teórico incuestionable para el desarrollo y promoción de conocimiento profesional y la reflexión docente. Las directrices necesarias para esta implementación, ya planteadas por algunas investigaciones (Alvarez, 2006; Camacho y Quintanilla 2008; Matthews, 1991) han sido discutidas como contribución en la organización de estas orientaciones para la enseñanza de la historia de la ciencia en la formación del estudiantado (Izquierdo, Caamaño, Quintanilla, 2007), pues permiten comprender la complejidad del desarrollo científico (Quintanilla, Izquierdo 2006).

Según Barrutia, Artacho, Díaz y Pérez (2002) los estudiantes presentan preconcepciones difíciles de cambiar sobre el concepto discutido, entre ellas se destacan la noción de membrana como una barrera impermeable que aísla la célula. No vinculan esta entidad celular propia y peculiar para la adherencia intercelular, para algunos es una monocapa lipídica y para otros, una bicapa lipídica. Consideran la membrana celular de animales y vegetales como diferentes, además entienden que la estructura química de la membrana intracelular es diferente de la membrana plasmática, es decir, frente a diferentes funciones las membranas deben tener estructuras distintas (Barrutia, et al, 2002). Esto nos lleva a pensar que esta noción es relevante para la comprensión de la fisiología, por lo tanto debe ser estudiada con mayor cuidado en la biología escolar.

Este trabajo de investigación es resultado de la reflexión teórica grupal donde el docente se pregunta por el origen de los contenidos (Zeichner, 2008). Se desarrolló un marco teórico-metodológico del Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales (GRECIA). Pretende discutir y por cierto valorar la Historia de la Biología, como insumo teórico para comprender la construcción del conocimiento (función epistemológica) y desde ahí, orientar el diseño de actividades científicas escolares que favorezcan el aprendizaje (función didáctica) considerando los obstáculos o preconcepciones que declaran los estudiantes. Desde este enfoque, hemos sistematizado el conocimiento de y sobre la membrana plasmática desde una perspectiva histórica, destacando las principales problemáticas propias de una época que estimularon la investigación sobre la célula. Veremos que la historia del desarrollo del modelo de la membrana plasmática (MP) se asemeja con las preconcepciones presentes en los estudiantes, principalmente en lo que se refiere a las dos primeras fases del desarrollo del modelo científico de membrana plasmática (MP). Lo que justifica de sobremanera la enseñanza de este modelo desde su desarrollo histórico, en el aula de biología en la enseñanza media y en las fases iniciales del estudio de la biología celular en la educación superior.

Este análisis considera la propuesta de Matthews, (1991), que menciona *el beneficio del acercamiento histórico a la enseñanza de las ciencias*, este autor también destaca la importancia de comprender los obstáculos enfrentados en el desarrollo de la historia de ciencia, como una potente herramienta para entender los obstáculos enfrentados por los estudiantes en la comprensión de determinada noción científica.

Este trabajo tuvo, además, la finalidad de investigar la manera cómo se genera el conocimiento científico y comprender e identificar posibles perspectivas didácticas a la enseñanza de la noción científica de membrana plasmática (García 2009).

1. El modelo de Membrana Plasmática: antecedentes, estructuración y avances hacia su consolidación.

Con excepción de algunos virus, la mayoría de los seres vivos contiene membranas, estas son un componente limítrofe y activo que separa la célula del medio extracelular. También se componen de membranas los compartimientos internos de la célula, como por ejemplo los organelos (Eichman, 1999). El estudio de las biomembranas está mezclado desde sus inicios con el estudio de los lípidos (petróleo y aceites) y su interacción con el agua. Eichman (1999) menciona que uno de los primeros en describir la relación de los lípidos con el agua fue Plinio el Viejo, en su obra enciclopédica Historia Natural (año 77 D.C), compuesta por 37 libros. Plinio señala que el agua del mar puede ser calmada fácilmente con el petróleo, idea que con el pasar del tiempo se convirtió en parte del folclor. Siglos más tarde entre los primeros experimentos realizados y registrados está de Benjamín Franklin en 1774, el cual derramó una cucharada de aceite sobre el mar encrespado, con el objetivo de calmarlo, cuenta el:

“ [...] aunque no era más que una cucharada, producía una calma instantánea, sobre varia yardas cuadradas, la cual se extendía de manera asombrosa y gradual hasta que alcanzó el sotavento e hizo que toda esa porción del estanque, tal vez la mitad de un acre, fuera tan lisa como un cristal.” (Voet y Voet, 2004, p. 405).

En ese momento B. Franklin no sabía el por qué se reducían las olas cuando se derramaba el aceite, y tampoco el por qué solamente conseguía calmar olas pequeñas. Esta situación se generaba debido a la reducción de la tensión superficial del agua, provocada por una fina capa monomolecular de lípidos (Heimburg, 2007).

Las investigaciones acerca de las capas monomoleculares fueron retomadas cien años después. En 1890 Lord Raleigh, científico con formación en física y matemática en Cambridge, fue capaz de repetir el trabajo de Franklin y además midió el tamaño de la zona que ocuparía determinado volumen de petróleo al ser esparcido en el agua, y el grosor de la película formada. Un año después, una mujer, Agnes Polkeds, le escribe una carta señalando que había conseguido desarrollar un dispositivo en experimentos realizados en su propia cocina, para medir el área exacta que el aceite ocupa cuando es esparcido sobre el agua. Las bases de este dispositivo todavía son utilizadas hoy por la comunidad científica que desarrolla estudios en fenómenos de superficie Eichman (1999).

El uso del concepto “membrana biológica” se atribuye al botánico alemán Pfeffer que en el año de 1887 (Meza, Romero-Mendez, Lincon, & Sánchez-Armass, 2010), realizaba investigaciones con respecto a las propiedades osmóticas en las células vegetales, identificando semejanzas entre éstas y las membrana obtenidas al precipitar ferrocianuro cúprico sobre las paredes porosas de la cerámica. Los estudios permitieron que Pfeffer desarrollara la hipótesis que admitía la existencia alrededor de la célula de una capa de protoplasma de propiedades apropiadas, con un espesor fino e invisible, podría tener propiedades osmóticas.

Los estudios de las propiedades osmóticas de las células y su relación con el estudio del comportamiento de los lípidos en superficies con la membrana, ocurrió de forma “casi casual”, ya que durante este mismo periodo Ernest Charles Overton (1895), botánico especializado en fisiología celular y farmacología, mientras realizaba su doctorado en botánica en la Universidad de Zurich, buscaba explicar cómo las células vegetales conseguían absorber algunas sustancias y excretar otras. En ese contexto observa que sustancias de origen lipídico atravesaban la membrana con relativa facilidad, por eso las llamó “lipoides”, pues las relacionó a la naturaleza química apolar de las mismas. Overton también mencionó que no hay diferencia en cuanto a las propiedades de permeabilidad entre las células vegetales y animales. Esta situación se oponía lo que se pensaba en esa época en el mundo científico, esto es, que la membrana era impermeable a casi todo excepto el agua. Estos estudios permitieron a Overton enunciar dos hipótesis: 1. Hay similitudes entre las membranas biológicas y los lípidos, como el aceite de oliva. 2. Ciertas moléculas (lípidos) pasan por “disolución” de lípidos de la membrana Eichman (1999).

A pesar de los trabajos desarrollados por Overton, sus hipótesis no fueron consideradas, y los estudios de la membrana plasmática, quedaron de cierta forma obtenidos durante algún tiempo. Sin embargo, los trabajos de investigación acerca de las capas monomoleculares fueron retomados por Irving Langmuir, científico de formación en Física y Química, que trabajaba en los laboratorios de la empresa General Electric - EUA, llegando de esa forma al estudio del aceite con el agua. Para eso utilizó una versión mejorada del aparato desarrollado por Agnes Pockels, quien consiguió mediciones precisas de las superficies ocupadas por cantidades conocidas de petróleo. Finalmente, Langmuir publica en 1916 un artículo sobre sus estudios acerca de monocapa moleculares Mendeley Citation (Langmuir, 1916) en el cual relató el comportamiento de los fosfolípidos en el agua, según el cual, sus grupos polares se disponían perpendicularmente al agua y los hidrocarburos en dirección opuesta a ella. Estas conclusiones fueron claves para la comprensión posterior de la bicapa lipídica de membranas biológicas.

La comprensión de la estructura de la membrana era todavía reducida y tangencial a los estudios de los lípidos y su comportamiento. Sin embargo, Gorter profesor, médico pediatra y también investigador, junto con su asistente de investigación F. Grendel, trabajaban en el laboratorio del hospital pediátrico de la universidad de Leiden, en Holanda y fueron de cierta forma los primeros en investigar específicamente las membranas biológicas y su espesor, a partir de los trabajos realizados por Langmuir sobre el comportamiento en agua y las monocapas de lípidos. Extrajeron los lípidos de las membranas de eritrocitos provenientes de varios animales, cuyas células rojas tienen tamaños diferenciados. Para esto usaron acetona y otros solventes (Gorter y Grendel, 1925) que al extenderlos sobre el agua, ocupaban el doble de la superficie de cada una de las células desde donde provenían, como lo mencionan en el artículo de su autoría:

“Nosotros, por tanto, suponemos que todo eritrocito está rodeado por una capa de lípidos, de los cuales los grupos polares se dirigen al interior y al exterior; en gran parte de la misma manera en que Bragg (1) supone que las moléculas se orientan en un cristal de un ácido graso, y como se disponen las moléculas de una burbuja de jabón según Perrin (2). En el límite de dos fases, siendo una la solución acuosa de la hemoglobina, y la otra el plasma, dicha orientación parece ser a priori la más probable. Cualquier otra explicación que no tenga en cuenta esta relación constante entre la superficie de los eritrocitos[...] y el contenido de lipoides parece muy difícil de sostener. Hemos examinado la sangre del hombre y del conejo, perro, conejillo de indias, ovejas y cabras. Existe una gran diferencia en el tamaño de los hematíes de estos animales, pero la superficie total de los eritrocitos en 0,1 cc de sangre no muestran una divergencia similar, porque los animales que tienen células muy pequeñas (de cabra y oveja) tienen mayor cantidad de estas células en su sangre que los animales con células de mayores dimensiones (perro y el conejo). Damos todos los resultados de nuestros experimentos, omitiendo únicamente aquellos en los que no hemos podido evitar pérdidas en el procedimiento de evaporación de la acetona. Está claro que todos nuestros resultados concuerdan muy bien con la suposición de que los eritrocitos están cubiertos por una capa de sustancias grasas que es de dos moléculas de espesor.”⁶²

Esto los llevó a la importante conclusión que la membrana de los eritrocitos está cubierta por una capa de sustancias de naturaleza lipídica, la cual tiene como espesor el tamaño de dos moléculas. Podemos valorar la importancia de este descubrimiento, ya que propone de una posible estructura de doble capa de lípidos (bicapa lipídica). A pesar de que en sus resultados presentaron algunos pequeños errores de cálculo, sus conclusiones fueron correctas y como veremos más adelante, centrales para el desarrollo del modelo actual de membrana plasmática.

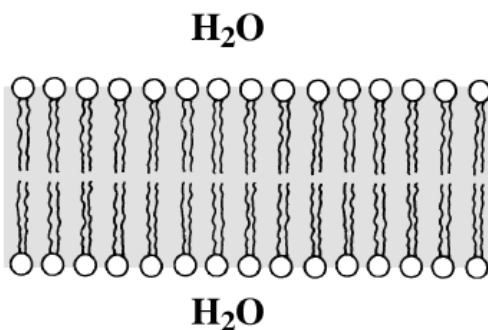


Figura 1: La membrana plasmática propuesta por Gorter y Grendel, 1935 (extraído de Heimburg, 2007)

Siete años después, Kenneth Stewart Cole (1932), hoy reconocido como el padre de la biofísica debido a sus estudios de las propiedades eléctricas de las células vivas, concluyó que la membrana celular debía estar formada por otros componentes además de lípidos (Eichman, 1999; Heimburg, 2007).

El investigador inglés, James F. Danielli, con formación en el área de la química, desde sus inicios como investigador tuvo una fuerte inclinación a los estudios de las membranas celulares junto a su amigo Hugh Davson. Fue becado para desarrollar investigaciones en la Universidad de Princeton, lo que posibilitó desarrollar trabajos junto a E. Newton Harvey, experto en estudios de superficie celular. En una de sus investigaciones con Harvey evidenciaron el requerimiento de un

⁶² Traducción y destaque del autor, desde el artículo escrito por el médico E. Gorter y su asistente de investigación F. Grendel (Gorter & Grendel, 1925)

factor adicional en la membrana, que serían las proteínas. Fue uno de los periodos más fructíferos de la vida de Danielli. En 1935, volvió a Inglaterra a la University College London, y continuó desarrollando sus estudios acerca del transporte en la membrana celular con Hugh Davson, fisiólogo y amigo particular. A pesar de ser mundialmente conocido por el desarrollo del primer modelo de membrana plasmática, Danielli desarrolló otras investigaciones, como por ejemplo el transporte facilitado, y significativas pesquisas en diversas áreas de la bioquímica (Stein, 1986).

El modelo propuesto por Danielli y Davson en 1935 para la membrana plasmática fue aceptado por gran parte de la comunidad científica de aquella época. A diferencia del anterior, incluía proteínas en la membrana plasmática. Este modelo ubica por sobre la bicapa proteínas adsorbidas, la mayoría de estas, solubles en el agua. Propone que los fosfolípidos son anfipáticos. En el artículo de la época, mencionan:

“En la actualidad existe un cuerpo de evidencia considerable que apoya la opinión de que las células vivas están rodeadas por una fina película de material lipídico. El término lipóide utilizado aquí se refiere a una sustancia mucho más soluble en hidrocarburos que en el agua [...] Esto ofrece un argumento bastante sólido respecto a que en estas células la película que separa el contenido de la celda eléctrica del medio circundante es de grosor unimolecular y trimolecular. Si, como parece razonable suponer, la misma membrana de una película se ocupa tanto de las propiedades eléctricas y de la permeabilidad, se convierte en relevante para considerar si las potencialidades de una película de tal dimensión son suficientes para explicar los fenómenos observados en los sistemas biológicos” (Danielli & Davson, 1935 pag 495) (traducción de los autores).

La propuesta de Danielli y Davson, conocida como la teoría Paucimolecular (Meza et al, 2010), describe una bicapa lipídica y dos capas de proteínas globulares, siendo una interna y la otra externa a la bicapa (figura 2). La región externa de las proteínas sería hidrofílica y la interior hidrofóbica. Estas conclusiones se originaron de la observación de entrada y salida de sustancias a la célula, motivo por el cual no fue considerado como un modelo, ya que en este periodo las evidencias acerca de la membrana eran indirectas pues la resolución de los microscopios de la época se limitaba a los 200 nm, impidiendo así la observación de la estructura bimolecular de la membrana, la cual tiene cerca de 5 y 10 nm de espesor (Heimburg, 2007).

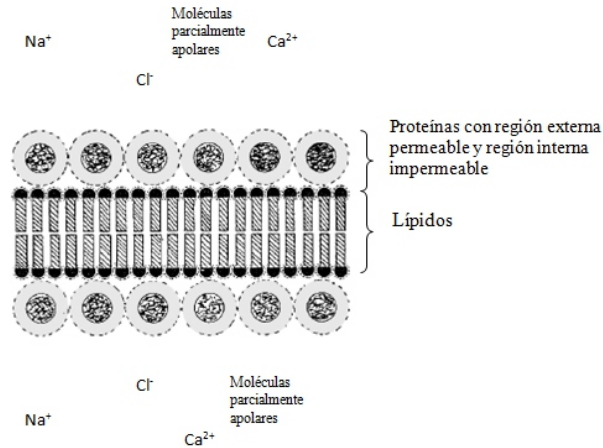


Figura 2: El modelo de membrana plasmática propuesto por Danielli y Davson (extraído de Heimburg, 2007).

Danielli y Davson concluyen que la permeabilidad de las membranas a los solutos, se explica desde la fisicoquímica acerca de las regiones hidrófilas y lipófilas de las membranas celulares y no debido a reacciones químicas, también que los solutos son necesarios para explicar las propiedades de transporte de las membranas celulares (Heimburg, 2007). Básicamente este modelo era compuesto de lípidos cubierto por ambos lados de proteínas. Este modelo de estructura de la membrana fue aceptado durante largo tiempo, siendo gradualmente insuficiente para explicar resultados de nuevas investigaciones.

En 1957, J. D. Robertson, científico del Departamento de Anatomía de la Universidad College, Londres, publicó un artículo donde presentó su testimonio y mostró las imágenes que se podían observar de la membrana celular y de su estructura única, lo que llamó “unidad de membrana” (Robertson, 1957), también conocido como el modelo unitario. Este modelo **confirma los avances realizados** por Gorter y Grendel (1925) y de Danielli y Davson (1935), ya que se percibía una característica trilaminar de la membrana donde las dos líneas exteriores serían las capas de proteínas y la interior la bicapa de lípidos. En el artículo de la época Robertson concluye:

“Aunque este documento no da respuesta a la naturaleza precisa de la sustancia puente, demuestra por primera vez la presencia de capas definidas dentro de la membrana de la célula de Schwann y establece una continuidad directa de cada una de estas capas con capas de dimensiones comparables en la vaina de mielina. Se ha demostrado que no existe dicha continuidad en los $150 \approx$. Un hueco central en mesaxones con cualquier capa de mielina de dimensiones comparables. De hecho, el puente es, a los límites de la resolución de las micrografías que aquí se presentan, obliterados en la vaina de mielina. Por lo tanto, parece que las capas lipídicas organizadas de la mielina no se continúan en el puente central del mesaxon. Esta conclusión se enfrenta de manera importante con la controversia iniciada hace varios años por Sjöstrand y Rhodin (1953), con su hipótesis de que las capas lipídicas organizadas están presentes en los espacios entre las capas densas de las membranas intercelulares y otras membranas de este tipo. Se considera que esta hipótesis es refutada por los resultados presentados aquí” (Robertson, 1957, pag. 1046 (Traducción de los autores).

Robertson la definía, conforme lo menciona Meza, et. Al. (2010), “la bicapa lipídica como una barrera al libre flujo de iones y moléculas hidrófilas, no descartaba la posible presencia de canales acuosos a través de los cuales pudiese darse el transporte de estos materiales”. En su investigación Robertson describe la “estructura común” (Figura 3) de todas las membranas celulares, incluso de los orgánulos, sin embargo “eso no quita la posibilidad de composiciones diferenciadas” de acuerdo a su especificidad (Eichman, 1999; Heimburg, 2007; Robertson, 1957).

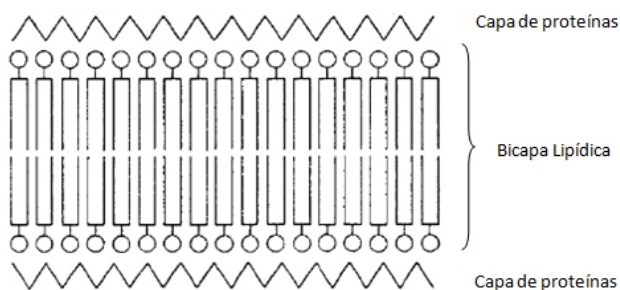


Figura 3: Estructura de la membrana relatada por D. J. Robertson (Heimburg, 2007)

El modelo de unidad de la membrana fue enseñado en las escuelas durante la década del sesenta e inicios de la década de setenta. En los libros de texto aparecía una imagen de micrografía electrónica (figura 4) para demostrar la estructura trilaminar de la membrana y su aspecto de “sándwich”. Sin embargo durante la década de los sesenta a través de microfotografías, se percibió que las proteínas tienen formato helicoidal, ubicadas de esta forma como mosaico, no como una camada continua, y las estructura de las camadas lipídicas también presentaban características más de líquidos que sólidos, cuestionando así el modelo propuesto por Robertson.



Figura 4: Imagen de las membrana celular trilaminar mencionada por J. D. Robertson (extraído de Heimburg, 2007)

A inicios de la década del setenta, el modelo de la unidad de membrana fue reemplazado por el modelo propuesto por los bioquímicos S. J. Singer, profesor de biología de la Universidad de California y Garth Nicolson investigador asociado al Armand Hammer Cancer Center, del Salk Institute para Estudios Biológicos, los dos en La Jolla, San Diego, EUA (Singer y Nicolson, 1972). Estos investigadores propusieron un “nuevo” modelo de membrana. Mantuvieron la bicapa lipídica propuesta por Gorter y Grendel (1925), que fue modificada por Danielli y Davson (1935) y por Robertson (1959), a las proteínas propuestas por los investigadores que los antecedieron, se les propuso una forma globular y flotantes en la

bicapa lipídica, anulando de cierta forma el modelo de “sándwich”. A este modelo se le llamó de **Modelo de Mosaico Fluido**, como lo describen sus investigadores:

“Se presenta un modelo de mosaico fluido para la organización general y estructura de las proteínas y los lípidos de las membranas biológicas. El modelo es consistente con las restricciones impuestas por la termodinámica. En este modelo, las proteínas integradas a la membrana son un conjunto heterogéneo de moléculas globulares dispuestas en una estructura anfipática, es decir, con los grupos iónicos y altamente polares sobresaliendo de la membrana hacia la fase acuosa, y gran parte de los grupos no polares profundos en el interior hidrofóbico de la membrana. Estas moléculas globulares están parcialmente incrustadas en una matriz de fosfolípidos. La mayor parte de los fosfolípidos están organizadas como una doble capa fluida discontinua, aunque una pequeña fracción de los lípidos puede interactuar específicamente con las proteínas de membrana. La estructura de mosaico fluido es, por lo tanto, formalmente análoga a una solución de proteínas integrales (o lipoproteínas) orientada de modo bidimensional en el solvente viscoso de la bicapa fosfolipídica” Singer y Nicolson, 1972, pag 730). (Traducción de los autores).

El modelo (figura 5) propone que las biomembranas se componen básicamente de proteínas y lípidos los cuales están compuestos por colas hidrofóbica, localizadas en el lado interno de la bicapa que es fluida y por las cabezas hidrofílica hacia los lados externos de la membrana, en contacto, con el agua y el medio liquido intra y extracelular. Las proteínas estarían “flotando” en esa bicapa y son de dos tipos: a) las proteínas periféricas que están en la región más externa de la membrana y se ligan y desligan fácilmente de la misma, b) las proteínas integrales, las cuales no se pueden separar fácilmente de los lípidos de la bicapa, éstas componen la mayor cantidad de proteínas de la membrana. Según Heimburg (2007) el nombre del modelo provendría de Danielli y Davson (1935), a pesar que estos investigadores no lo mencionaron, ellos destacaron que algunas proteínas parecían que interactuaban con los lípidos circundantes. Otras pueden contener canales o “poros”. De acuerdo a investigaciones posteriores estas proteínas estarían en el área que está en contacto con la bicapa lipídica con características hidrofóbicas (Heimburg, 2007; Singer y Nicolson 1972).

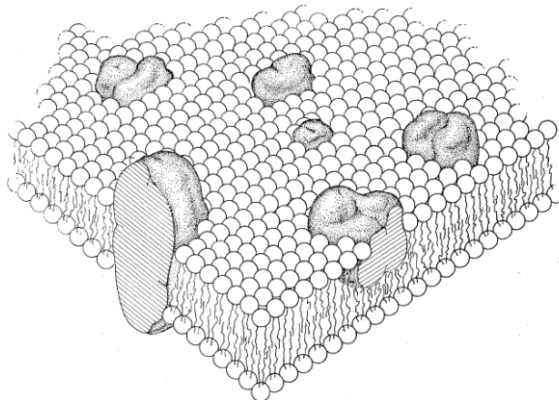


Figura 5: Figura del Modelo de Mosaico Fluido propuesto Singer y Nicolson (extraído desde Singer y Nicolson, 1972).

Tiempo después surgieron observaciones al modelo de Singer y Nicolson (Meza, Romero-Méndez, Lincon y Sánchez-Armáss, 2010), quienes mencionan que “los parámetros intrínsecos de los materiales de la membrana (por ejemplo: densidad, módulo elástico, viscosidad, energía libre superficial y módulo de deformación) mostraban diferencias significativas con respecto a los observados en bicapas lipídicas artificiales”. Debido a este tipo de inconsistencias, las críticas no demoraron, lo que llevó a la incorporación de la noción de asimetría entre las dos monocapas lipídicas. Los estudios realizados a partir de bicapas y monocapas sintéticas, según Meza et al. (2010) “permitió establecer los principios termodinámicos que subyacen la segregación de fases inter e intra monocapas”.

En 1988 Simons y van Meer, proponen el modelo de microdominios lipídicos (Simons y Meers, 1988), conocido actualmente como “balsas de membrana”. Existen discordancias cuanto a que si este sería realmente un nuevo modelo o simplemente una versión mejorada del modelo de Singer y Nicolson, ya que para algunos científicos, este modelo todavía es válido (Eddin, 2003; Vereb et al., 2003) y para otros habría sido substituido por el modelo de Eddin (2003). Simons y van Meer al plantear que los complejos glicosfingolípidos-colesterol se mantienen estrechamente empaquetados y se comportan como unidades de balsas en la monocapa externa de la membrana plasmática. Posteriormente, en la década del noventa se demuestra que esta situación también ocurre en la monocapa interna, o sea la que está en contacto con el citoplasma, sin embargo su estructura y sus propiedades, todavía no son claras para los investigadores (Meza et al., 2010).

En los últimos años se ha consensuado la redefinición del concepto balsa lipídica (lipid rafts) como de balsas de membranas (membrane rafts), que según Meza et al. (2010) se “componen de pequeños dominios en la membrana, heterogéneos, altamente dinámicos, enriquecidos con esteroides y esfingolípidos que compartimentan procesos celulares”. Actualmente se conocen dos tipos de balsas de membranas: 1) las balsas planas, las cuales son muy pequeñas y dinámicas y 2) las caveolas, que son invaginaciones de la membrana plasmática. Se adjudica un papel importante hoy a las balsas de membrana en la coordinación de la transducción de señales extracelulares, apoptosis, infecciones provocadas por virus, endocitosis y exocitosis. También se sabe que la desestabilización de las mismas podría afectar la expresión y/o la actividad de algunas proteínas de la membrana (Meza et al., 2010).

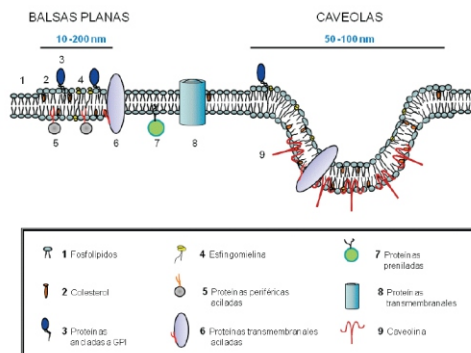


Figura 6: Tipos de balsas de membrana: planas y caveolas (extraído de Meza et al, 2010, pag. 6)

A pesar del profundo y notorio avance del modelo de membrana plasmática, a inicios de la segunda década del siglo XXI, las críticas al modelo de balsas de la membrana ya se han iniciado. Los principales hitos en la evolución del modelo de membrana plasmática se iniciaron muchos años antes que su visualización en el microscopio. Como mencionamos anteriormente, desde los estudios de la interacción de los lípidos con el agua, de forma lenta y gradual esos conocimientos han sido usados para la comprensión de las propiedades de la membrana plasmática, sus características estructurales y finalmente el desarrollo de los aspectos dinámicos de la membrana.

Tabla 1: Síntesis comparativa de los procesos de desarrollo, en la historia, del modelo de membrana plasmática

Fase del desarrollo del modelo	Principales hitos
Comportamiento de los lípidos en el agua.	1. 77 D.C. - Plinio el viejo: menciona el efecto provocado por los lípidos en el agua (Heimburg, 2007; Voet y Voet, 2004). 2. 1774 - B Franklin: describe la reducción de las pequeñas olas cuando se derrama aceite por sobre las mismas (Eddin, 2003; Heimburg, 2007; Voet y Voet, 2004). 3. 1890 – Lord Raleigh: Midió el volumen y la zona ocupada por una determinada porción de petróleo esparcida por el agua (Eddin, 2003; Heimburg, 2007). 4. 1891 - Agnes Polkeds: desarrolla un dispositivo para medir el área exacta ocupada por el aceite sobre el agua (Eichman, 1999; Heimburg, 2007). 5. 1916 – Irving Langmuir: relata el comportamiento de las monocapas de los fosfolípidos en el agua y su porción hidrofílica e hidrofóbica (Eddin, 2003; Langmuir, 1916).
Desarrollo de las características estructurales estáticas de la membrana	1. 1887 – Pfeffer: propone la hipótesis de que admitía la existencia al derredor de la célula de una capa de protoplasma de propiedades apropiadas con un espesor fino, e invisible, podría tener propiedades osmóticas (Meza et al., 2010). 2. 1895 – Ernest Charles Overton: relaciona la salida o entrada de sustancias a la célula, con la naturaleza química apolar de las mismas (similitudes de las membranas con el aceite y algunas moléculas pasa por
	disolución dentro de lípidos) (Eddin, 2003; Eichman, 1999) 3. 1925 – E. Gorter & F. Grendel: los lípidos extraídos de las membranas celulares ocupan el doble del área de las membranas, por lo cual se concluye que la membrana es compuesta por una doble capa lipídica (Gorter y Grendel, 1925). 4. 1932 – Kenneth Stewart Cole: concluye que las membranas celulares deben estar formadas por otros componentes que no son lípidos (Eddin, 2003; Heimburg, 2007). 5. 1935 – J. F. Danielli & Hugh Davson: Modelo de “sándwich”, donde la bicapa lipídica era revestida interna y externamente por capas proteicas (Danielli y Davson, 1935; Stein, 1986). 6. 1957 – J. D. Robertson: Modelo de de unidad de la membrana en el cual todas las membranas tendrían la misma estructura, sin necesariamente tener la misma composición. Confirma la estructura trilaminar del modelo de Danielli y Davson y su aspecto de “sándwich” y la bicapa lipídica de Gorte y Grendel (Eddin, 2003; Heimburg, 2007; Robertson, 1957).
Desarrollo de los aspectos dinámicos de la membrana plasmática	1. 1972 – S. J. Singer & Garth Nicolson: proponen el modelo de “mosaico fluido”, donde las proteínas están insertas en la bicapa (Eddin, 2003; Heimburg, 2007; Singer y Nicolson, 1972). 2. 1988 – Simons & van Meer: el modelo de las “balsas de membrana” plantea que los complejos glicoesfingolípidos-colesterol se mantienen estrechamente empaquetados y se comportan como unidades de balsas en la monocapa externa de la membrana plasmática (Eddin, 2003; Meza et al., 2010; Simons y Meers, 1988; Vereb et al., 2003). “Si el modelo del Mosaico Fluido fue substituido por el modelo de balsas, o este último es una adaptación es todavía una temática en discusión en la comunidad científica (Eddin, 2003; Meza et al., 2010; Vereb et al., 2003)

El estudio del desarrollo histórico del modelo actual de membrana plasmática, puede contribuir al profesorado de biología en ejercicio o formación a elaborar instrumentos teóricamente y comprender los procesos cognitivos que enfrenta el estudiantado al momento de aprender sobre la membrana plasmática y otros fenómenos que ocurren en la célula.

En la tabla 1 podemos identificar que el desarrollo histórico del modelo ha presentado distintas fases hasta llegar al modelo actual, partiendo del estudio y comprensión del comportamiento de los lípidos en el agua, los estudios de los componentes químicos de la membrana y finalizando, hasta la actualidad, en investigaciones de los componentes dinámicos de la misma, los cuales confieren sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Este modelo dinámico y actual posibilita entender las repercusiones funcionales que dejan todavía un gran camino a recorrer por la comunidad científica para, quien sabe, y justificar nuevos y complejos mecanismos de funcionamiento de las biomembranas, que a pesar de ser tan pequeñas y delgadas, realizan funciones fundamentales en el mantenimiento de la integridad celular y consecuentemente del ser vivo.

Estas fases que componen el desarrollo histórico del modelo, denotan semejanza con las diferentes preconcepciones existentes en los estudiantes también mencionadas por Barrútia, et. al. (2002). El estudio de la membrana plasmática desde una mirada histórica permite así al estudiante comprender razonablemente algunas de las fases que este modelo científico ha enfrentado en la historia de la ciencia, identificar y caracterizar el aspecto dinámico de la membrana, aportando así a la modelización de este modelo científico que es fundamental para la comprensión del modelo de ser vivo.

2. Las preconcepciones del estudiantado acerca de la membrana plasmática. Aportes desde la Historia de la Ciencia

Dada la complejidad de la estructura de la membrana plasmática y la importancia de la construcción de una noción significativa por parte del estudiantado, se hace imprescindible, desde el proceso de enseñanza, considerar cuáles son aquellas preconcepciones que subyacen en los alumnos y alumnas acerca de la membrana plasmática tanto de enseñanza media y de primer año de universidad:

“Principales preconcepciones que presentan los estudiantes nociones acerca de moléculas orgánicas que componen las células y la membrana plasmática” (Berthelsen, 1999; García, et al., 2002),):

- * No tienen seguridad referida cuanto a la jerarquía de átomos, moléculas y células. Describen las células sólo como componentes de muchas cosas, incluyendo carbohidratos y proteínas.
- * Presentan dificultades para diferenciar la división, crecimiento y la diferenciación celular. Creen que los seres vivos crecen por que sus células aumentan de tamaño. El rol de la diferenciación celular en el crecimiento es poco conocida.

- * La mayoría de los estudiantes solo hay dos tipos de células: la animal y la vegetal.
- * Las macromoléculas son moléculas químicas formadas por unidades que se repiten.
- * No tienen noción de la estructura tridimensional de las macromoléculas.
- * Relacionan las macromoléculas con el almacenamiento de información genética.
- * Para algunos las proteínas son responsables por la síntesis de macromoléculas, para otros es el material genético el responsable, sin embargo, muy pocos relacionan los dos en la síntesis de macromoléculas

“Principales preconcepciones que presenta el estudiantado acerca la membrana plasmática y sus estructuras” (García, et al., 2002),:

- * Cerca de 80% de los estudiantes saben definir correctamente la membrana plasmática.
- * Noción de membrana como una barrera que aísla la célula.
- * Es impermeable
- * No vinculan la membrana plasmática como el medio de conexión entre las células.
- * Membrana formada por proteínas integradas total o parcialmente en una bicapa lipídica (mosaico fluido)
- * Membrana bicapa lipídica con proteínas periféricas.
- * Membrana es una monocapa lipídica.
- * Consideran que la membrana que rodea la célula es diferente a las membranas internas
- * La membrana plasmática de la célula animal y de la vegetal son diferentes.

En consecuencia, el conocimiento de las preconcepciones que presenta el estudiantado acerca de la membrana plasmática, permite al profesor o profesora tomar decisiones en el diseño e implementación de la unidad didáctica de la célula y, en especial, de la estructura de la membrana plasmática. Es frecuente que se admita que, ante estructuras parecidas hay que deducir funciones similares, y naturalmente lo contrario, aunque hay numerosos ejemplos en la naturaleza que contravienen esta suposición. Como las membranas biológicas pueden constituir orgánulos celulares con muy diferentes funciones, algunos estudiantes acentúan sus dudas a este respecto y consideran que ante diferentes funciones las membranas también son distintas estructuralmente”. (García, M.S p.205).

Lo anterior, podría deberse a que“...durante la Enseñanza Secundaria, el aprendizaje de la organización celular queda reducido a la simple memorización de las parejas orgánulo celular/función luego son olvidados o confundidos como ya han demostrado otros estudios (Caballer y Giménez 1992), En cuanto a “*los alumnos en enseñanza superior, ya sea por su propia deformación, y/o por planteamientos didácticos erróneos por parte del profesorado, siguen planteándose el estudio de la organización celular como una simple memorización, no comprendiendo la relación*

estructura molecular/función celular, y cómo las funciones celulares dependen de las funciones de las macromoléculas y de las diversas interacciones de éstas en las distintas estructuras celulares que constituyen, dando, de esta manera, sentido a la actividad celular”. (p.205)

3. El uso de la historia de la membrana plasmática en la clase de biología

La actividad aquí relatada se inicia en un taller de formación permanente de docentes de biología realizado por el Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales (G.R.E.C.I.A) en vinculación con el proyecto AKA-04. Este taller estaba estructurado en 8 sesiones, en las cuales se proponía identificar una noción científica que presentase dificultades para su enseñanza. Se distribuyó en 4 sesiones para la fundamentación teórica, tres sesiones para el diseño de la UD y la última sesión para la evaluación de la experiencia vivida, de forma concomitante, durante el diseño de la UD, se fue realizando la implementación de la misma, por esta razón fue posible ir direccionando su diseño durante su elaboración.

Inicialmente dos profesoras de biología de enseñanza media, toman la decisión, de diseñar una unidad didáctica para la enseñanza de la membrana plasmática pues para ellas esta era una noción que presentaba diversas dificultades para su enseñanza. La unidad didáctica diseñada en este taller, se basa en los fundamentos teóricos del ciclo constructivista presentados por Sammartí (2002).. La experiencia didáctica relatada se detalla en especial la implementación y ejecución de un instrumento en el marco de la fase de la introducción de nuevos conocimientos.

4. Relato de la experiencia

El uso de la historia de la ciencia para la enseñanza de la membrana plasmática (MP) emerge de una de las discusiones realizadas al interior del taller, donde se discutió las dificultades para que el estudiante comprenda la fisiología de la MP. También se analizan las nociones previas respecto de la MP que presentan los estudiantes de enseñanza media y de nivel universitario. Según Barrutia, Artacho, Díaz y Perez (2002) los estudiantes evidencian preconcepciones respecto de la MP, entre ellas se destacan la noción de membrana como una barrera impermeable que aísla la célula conforme lo menciona García, M., et al., (2002). Los estudiantes no vinculan esta entidad celular propia y peculiar para la adherencia intercelular, para algunos es una monocapa lipídica y para otros es una bicapa lipídica, consideran la membrana celular de animales y vegetales como diferentes, además asumen que la estructura química de las membranas intracelular es diferente de la membrana plasmática, es decir, frente a diferentes funciones las membranas deben tener estructuras distintas (Barrutia, et., 2002). Estas preconcepciones persisten en los niveles superiores, son difíciles de modificar considerando que esta noción es básica para la comprensión de la fisiología celular, por tanto debe ser estudiada y desarrollada con mayor atención y cuidado en la enseñanza de la biología escolar.

La experiencia relatada anteriormente, fue protagonizada por dos docentes de biología y una investigadora del laboratorio GRECIA, se refiere al uso de la historia como aporte al desarrollo del modelo científico escolar de membrana plasmática (MP), en un curso de 1° Enseñanza media, en un colegio de la ciudad de Santiago de Chile.

La actividad concebida como proceso de desarrollo profesional y teórico se inicia con cuatro objetivos: a. Reconocer que la actividad científica requiere trabajo y esfuerzo; b. Confrontar ideas previas de MP como impermeable y aislante. c. Vincular a la MP como el factor de conexión intercelular; d. Reconocer estructura semejante y composición diferente de las biomembranas.

Metodología: Esta actividad se realiza a través de la implementación de un instrumento desarrollado por el grupo de profesoras, se compuso de dos fases:

1. *El instrumento:* Se elaboraron fichas y en cada una estaba la foto de un científico que realizó avances en el desarrollo del actual modelo científico de la MP (ver figura 1): Karl Wilhelm von Nägeli (1855), Charles Ernest Overton (1895), Irving Langmuir (1897), E. Gorter y F. Grendel (1925), Hugh Davson y James Frederic Danielli (1935), Jammes David Robertson (1959), Seymour Jonathan Singer y Garth Nicholson (1972). En cada una de estas fichas se coloca una breve sinopsis a respecto del aporte de cada avance del MP, a seguir estaba la pregunta: ¿Qué preguntas crees tú que se planteaba el científico, para poder llegar a tales conclusiones? (Rocca, 2007) (ver fichas en anexo).
2. *Implementación del instrumento:* La actividad se implementó entregando a cada una de las filas de la clase, un tipo de ficha, donde ellos respondieron la pregunta de forma personal y un representante de la fila fue a la pizarra y diseño el modelo que ellos pensaban que era imaginado por el científico de la ficha que les había tocado.

Los resultados provienen de los análisis a los trabajos presentados durante el desarrollo del instrumento por el estudiantado. A continuación se muestran las imágenes de los modelos de membrana plasmática que idealizaron los estudiantes, a partir del instrumento con el cual trabajaron.

Ficha	Grupo A	Grupo B	Grupo C
Imagen diseñada			

Tabla 1: Resultados de los diseños realizados en la pizarra de los grupos A, B y C

Podemos notar en la Tabla 1 que el diseño elaborado por el grupo que trabajo con la ficha A (Grupo A), se identifica la membrana y que en esta existe el movimiento del agua en la membrana. El grupo que trabajó con la ficha B (Grupo B) demuestra que entienden que además del traspaso de agua en la membrana, ella está formada de lípidos. El Grupo C especifica que los lípidos son fosfolípidos.

Ficha	Grupo D	Grupo E	Grupo F
Imagen diseñada			

Tabla 2: Resultados de los diseños realizados en la pizarra de los grupos D, E y F

En la Tabla 2, el Grupo D, demuestra en la imagen diseñada, la doble capa de fosfolípidos y además hay otras moléculas. El dibujo elaborado por el Grupo E demuestra los fosfolípidos en forma de bicapa, con poros y proteínas. Finalmente el Grupo F menciona que todas las células tienen la misma membrana, pero no mencionan que estas pueden variar de composición. Observando las figuras notamos un aumento en la complejidad del modelo de MP, desde el cual las docentes lo discuten en su clase.

La enseñanza del modelo de membrana plasmática en la escuela en general, parte de los componentes químicos y los transportes fisiológicos de la misma, sin embargo no se discute con el estudiante como se desarrolló la idea de este modelo a través de la historia, por ello, provoca la formación de ideas erróneas a respecto de la estructura e fisiología de la membrana, formando obstáculos para la enseñanza de otras nociones como lo mencionamos anteriormente. Esta situación justifica un análisis detallado de la historia del modelo de MP, donde los estudiantes pueden entender las distintas fases recorridas en el diseño del actual modelo de MP, hasta llegar al actual modelo, donde se nota semejanza con las diferentes preconcepciones existentes en los estudiantes y reflejadas en el estudio del desarrollo histórico de la membrana plasmática, mencionadas por Barrútia, et. al. (2002).

Los resultados presentados permiten asociar que el estudio histórico del modelo de membrana plasmática posibilita que el estudiante se identifique de cierta forma con algunas de las fases que este modelo científico ha enfrentado, identificando y comprendiendo el aspecto estructural de la misma. Sin embargo, como lo discute Gil (1993, en Porlan, 1998), el estudio de la comprensión de los obstáculos epistemológicos enfrentados por los científicos, puede facilitar la comprensión por parte de los docentes, de las dificultades enfrentadas por los estudiantes, en la elaboración del modelo científico escolar.

Dada la situación presentada en este capítulo, es importante relevar la importancia del este estudio para el profesorado, desde el cual, pudieron identificar y relacionar las ideas de sus estudiantes con las fases que el desarrollo histórico del modelo ha enfrentado. Para finalizar podemos concluir a través de los dibujos presentados por los estudiantes, que tienen nociones de los componentes químicos de la MP, sin embargo, no queda claro que comprendan los aspectos dinámicos de la membrana, lo que continúa siendo un desafío para su enseñanza. Este capítulo está basado en los trabajos:

Joglar, Quintanilla, Ravanal y Brunstein. (2011, 5 a 10, diciembre). *El Desarrollo Histórico del Modelo de Membrana Plasmática: Perspectivas Didácticas*. Comunicación presentada en VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), Campinas, Brasil.

Joglar, Cekalovic y Roca. (2012, 18 -20 de julio). *El uso de la historia de la ciencia en la modelización de Membrana Plasmática*. Comunicación presentada en V Congreso Iationamericano de investigación en didáctica de las ciencias experimentales y de las matemáticas., Santiago de Chile.

Agradecimientos

Esta investigación se enmarca en los marcos teóricos y metodológicos de los proyectos AKA 04 y FONDECYT 1095149.

Este capítulo sigue las orientaciones teóricas y metodológicas del **Proyecto COLCIENCIAS-CONICYT Folio: PCCI130073** y del **Proyecto de Movilidad Académica DRI-UC 024/14** que dirige el Dr. Mario Quintanilla Gatica.

Lista de referencias bibliográficas.

- ÁLVAREZ, M. (2006). ¿Qué historia de la ciencia enseñar? In M. Quintanilla (Ed.), *Historia de la Ciencia. Aportes para su divulgación y enseñanza* (pp. 55-57). Santiago, Chile.
- BARRUTIA, M. S., ARTACHO, C. J., DÍAZ, J. F., & PEREZ, J. F. (2002). Evolución de conceptos relacionados con la estructura y función de membranas celulares en alumnos de Enseñanza Secundaria y Universidad. *Anales de Biología*, 24, 201-207.
- CAMACHO, J., & QUINTANILLA, M. (2008). Resolución de Problemas Científicos desde la Historia de la Ciencia: Retos y Desafíos para Promover Competencias Cognitivo Lingüísticas en la Enseñanza de la Química Escolar. *Ciencia & Educação*, 14(2), 197-212.
- DANIELLI, J. F., & DAVSON, H. (1935). A contribution to the theory of permeability of thin films. *Journal of Cellular Physiology*, 5(4), 495-508.
- EDDIN, M. (2003). Lipids on the frontier: a century of cell-membrane bilayers. *Nature*, 4(May), 414-416.
- EICHMAN, P. (1999). From the Lipid Bilayer to the Fluid Mosaic: A Brief History of Membrane Models. *Resource Center for Sociology, History and Philosophy in Science Teaching - Teachers' Network News*, 9(2), 1, 5-8.
- GARCÍA, A. (2009, 2009). *Aportes de la historia de la ciencia a la formación permanente del profesorado universitario. un caso en el área de la fisicoquímica*. Paper presented at the VII Congreso Internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias, Barcelona.
- GORTER, E., & GREDEL, F. (1925). On bimolecular layers of lipids on the chromocytes of the blood." *Journal of Experimental Medicine. Journal of Experimental Medicine*, 41(4), 439-443.

- HEIMBURG, T. (2007). Membranes - An introduction. In T. Heimburg (Ed.), *Thermal Biophysics of Membranes* (pp. 1-19).
- LANGMUIR, I. (1916). The constitution and Fundamental Properties of Solids and Liquids. *Journal of the American Chemical Society*, 252, 1-75. doi: 10.1021/ja02268a002
- MATTHEWS, M. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *CL & E: Comunicación, lenguaje y educación*(11-12), 141-156.
- MEZA, U., ROMERO_MÉNDEZ, A. C., LINCÓN, Y., & SÁNCHEZ-ARMÁSS, S. (2010). La Membrana Plasmática: Modelos, Balsas y Señalización. *Revista de Educación Bioquímica*, 29(4), 125-134.
- ROBERTSON, D. (1957). Observations on the Ultrastructure of the Membranes of Frog of Anatomy. *Journal Biophys Biochemical Cytology*, 3(6), 1043-1048.
- ROCCA, M. (2007). *Les preguntes en Lapregnentatge de les Ciències*.
- SANMARTÍ, N. (2002). *Enseñar y aprender Ciencias : algunas reflexiones*. Madrid: Síntesis.
- SIMONS, K., & MEERS, G. V. (1988). Perspectives in Biochemistry Lipid Sorting in Epithelial Cells. *Biochemistry*, 27(17), 6197-6202.
- SINGER, S. J., & NICOLSON, G. L. (1972). The fluid mosaic model of the structure of cell membranes. *Science*, 175(23), 720-731.
- STEIN, W. D. (1986). James Frederic Danielli . 13 November 1911-22 April 1984. *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, 32, 116-135.
- VEREB, G., SZOLLOSI, J., MATKO, J., NAGY, P., FARKAS, T., VIGH, L., DAMJANOVICH, S. (2003). Dynamic, yet structured: The cell membrane three decades after the Singer-Nicolson model. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 100(14), 8053-8058. doi: 10.1073/pnas.1332550100
- VOET, D., & VOET, J. G. (2004). Lípidos y Membranas *Bioquímica* (pp. 405). Argentina: Editorial Panamericana. (Reprinted from: 3a.).
- ZEICHNER, K. M. (2008). Uma análise crítica sobre a "reflexão" como conceito estruturante na formação docente. *Educ. Soc.*, 29(103), 535-554.

ANEXOS

FICHA A

Colegio: Docente: Asignatura: Contenido: Membrana Plasmática Nombre:	
	Karl Wilhelm von Nägeli En 1855 a través de observación indirecta de células vivas, este científico denominó de “membrana plasmática” a una película invisible que envolvía las células y sería responsable por fenómenos osmóticos (proceso que permitía la entrada de agua en la célula, en otros casos retiraba agua de las células, y en otros simplemente se mantenía el equilibrio). Pregunta que se planteaba el científico

FICHA B

Colegio: Docente: Asignatura: Contenido: Membrana Plasmática Nombre:	
	Charles Ernest Overton En 1895 observó que las moléculas liposolubles atravesaban de forma más fácil la membrana plasmática, esta comprobación permitió elaborar la hipótesis de que la membrana plasmática estaría compuesta por una fina membrana de lípidos, la cual estaba abajo del límite de resolución del microscopio óptico. Pregunta que se planteaba el científico

FICHA C

Colegio: Docente: Asignatura: Contenido: Membrana Plasmática Nombre:	
	Irving Langmuir En 1897 Estudió el comportamiento de los fosfolípidos de la membrana plasmática en el agua y observó que los grupos polares se disponen perpendicularmente a ella, en cuanto que los hidrocarburos (apolares) apuntaban hacia la dirección opuesta del agua. Pregunta que se planteaba el científico

FICHA D

Colegio: Docente: Asignatura: Contenido: Membrana Plasmática Nombre:	
	E. Gorter y F. Grendel En 1925 extrajeron los lípidos de la membrana de varias células animales, y notaron que estos ocupaban una superficie dos veces mayor a la superficie de cada una de las células, concluyeron que la membrana plasmática está formada por dos capas de lípidos (bicapa lipídica). En 1932 Kenneth Stewart Cole Sus estudios lo llevaron a concluir que la membrana plasmática tenía que estar formada por otros componentes además de los lípidos. Pregunta que se planteaba el científico

FICHA E

Colegio: Docente: Asignatura: Contenido: Membrana Plasmática Nombre:	
 	Hugh Davson y James Frederic Danielli En 1955 propusieron el primer modelo de la estructura de la membrana plasmática en forma de un emparedado en la que los fosfolípidos estarían rodeados por proteínas y para que hubiera intercambio propusieron poros en la membrana plasmática. Estas propiedades químicas de la membrana explicarían sus propiedades de transporte. Pregunta que se planteaba el científico

FICHA F

Colegio: Docente: Asignatura: Contenido: Membrana Plasmática Nombre:	
	James David Robertson En 1959 gracias a los avances de la microscopía electrónica, este científico propuso la estructura común de todas las membranas de las células (unidad de membrana), sin embargo eso no quita la posibilidad de composiciones diferenciadas de acuerdo a su especificidad. Pregunta que se planteaba el científico

FICHA G

Colegio: Docente: Asignatura: Contenido: Membrana Plasmática Nombre:	
 	Seymour Jonathan Singer & Garth Nicholson En 1972 Singer y Nicholson propusieron el modelo de mosaico fluido de membrana. Las proteínas, lípidos e hidratos de carbono se sitúan en una configuración estable. Los lípidos forman la bicapa lipídica y las proteínas adoptan una configuración en la membrana según la interacción de sus partes con las moléculas que las rodea. Estas proteínas pueden ser de dos tipos: Proteínas integrales (atravesan por completo la membrana) y las proteínas periféricas (no atraviesan la membrana y sobresalen en una de las hemimembranas). Pregunta que se planteaba el científico

Capítulo 15

*Nicolás Copérnico desde una propuesta realista pragmática de la historia de la ciencia*⁶³

Mario Quintanilla, Gerardo Saffer.

Pontificia Universidad Católica de Chile

Mercè Izquierdo.

Universidad Autónoma de Barcelona

Agustín Adúriz-Bravo.

Universidad de Buenos Aires

Índice

Resumen

3. Introducción

4. Los inicios del científico polaco

5. Copérnico y su época

6. El pensamiento de Copérnico

7. La falsificación luterana se hace evidente

8. Copérnico y la formación de los profesores de Ciencias Naturales

9. Aplicación: La 'Introducción' a una de las obras de Copérnico

10. Conclusiones

Lista de referencias bibliográficas

Resumen

En este capítulo se desarrolla una argumentación epistemológica, histórica y didáctica que recupera el aporte de Nicolás Copérnico a la ciencia para la formación de profesores de Ciencias Naturales. Se abordan sucintamente los conflictos entre religión y ciencia en los siglos XV y XVI, particularmente la dimensión filosófico naturalista y cristiana de Copérnico y las pugnas entre el protestantismo y el catolicismo de la época, tomando como ejemplo las enormes dificultades que tendría la divulgación póstuma del llamado *modelo copernicano*, que finalmente será consolidado por Galileo y Kepler.

Inspeccionamos rápidamente cómo el abuso de poder y la autoridad religiosa condicionaron los descubrimientos científicos a través de dilemas no asumidos en una

⁶³Una versión preliminar Versión corregida y aumentada del capítulo “*Nicolas Copernico desde una propuesta realista pragmática de la historia de la ciencia*” (Quintanilla, 2007).

época de complejas transformaciones. Con esta argumentación, nos interesa que los profesores de Ciencias Naturales revisen la reducción de las ideas de Copérnico, después de su muerte, a simples 'hipótesis interpretativas', las consecuencias históricas que se derivaron de ello y las aportaciones que tales reflexiones pueden hacer a la enseñanza de las ciencias en los diferentes niveles educativos, con especial énfasis en secundaria. Finalmente, se sugieren algunas estrategias para enseñar las ideas de Copérnico desde una visión realista pragmática del conocimiento científico, recogidas las ideas del análisis histórico preliminar.

1. Introducción

A partir del siglo XVIII se fue haciendo cada vez más relevante la importancia social de la ciencia y se generó una nueva filosofía de la ciencia que pretendía llegar a convertirse en una suerte de 'conciencia crítica del saber científico' (Barona, 1994). Es indudable el carácter *histórico* de la ciencia, es decir, la idea de que el conocimiento está vivo, que la ciencia es dinámica y progresivamente mutable, que los conceptos, modelos y teorías científicas terminan siendo reemplazados por otros, y que los marcos ideológicos que fundamentan el conocimiento en cada época sufren igualmente un proceso de cambio (Quintanilla, 2006).

La idea de *historicidad* de la ciencia admite interpretaciones encontradas: unas intentan explicar la evolución del conocimiento científico desde una mirada reduccionista u objetivable al dato mismo (la *visión anacrónica*); otras quieren generar modelos interpretativos que surgen de la valoración de la época y del contexto en que dicho conocimiento se 'socializó' en una comunidad científica (la *visión diacrónica*). Esta última forma de entender la historia de la ciencia, valiosa a nuestro juicio para los profesores de Ciencias Naturales, genera planteamientos que distinguen de manera sustancial entre los llamados *hechos del pasado* y los *hechos históricos* (Kragh, 1989; Barona, 1994). Recoger el dato objetivable e interpretarlo sin valorar el sentido que tienen la época, las expectativas sociales y culturales y los conflictos religiosos y políticos que condicionaron los descubrimientos e invenciones científicas, elementos todos que también forman parte del llamado 'dato histórico', contribuye a una interpretación restrictiva del desarrollo del conocimiento y la actividad científicos que, para muchos autores, no sería la más adecuada para la enseñanza de las ciencias (Matthews, 1994; Quintanilla, 2005).

En muchos casos, científicos y profesores de Ciencias Naturales consideramos la ciencia como un conjunto de acontecimientos desconectados que refuerzan esta idea *ahistórica*; es decir, transmitimos una ciencia reducida a los formalismos categóricos propios de la mirada neopositivista y 'neutral'. Sin embargo, investigaciones rigurosas en la materia señalan que la ciencia es un proceso continuo de constitución de saberes con dimensiones no sólo históricas, sino también sociales, políticas, económicas y culturales. La ciencia es producto de una *actividad social* que excede con mucho los actos individuales de descubrimiento o de creación (Crombie, 1993; Barona, 1994; Masón, 2001).

En la línea de las ideas anteriores, uno de los autores de este capítulo (Izquierdo, 2000) plantea la necesidad de generar un trabajo científico escolar que profundice en la historia de la ciencia, puesto que esta disciplina permitiría relacionar el entramado conceptual que se está aprendiendo y el problema que se intenta solucionar con diversas miradas, estrategias y racionalidades. Esta forma de enseñar las Ciencias Naturales posibilita 'releer' marcos conceptuales diferentes a los utilizados actualmente para interpretar fenómenos que hoy comprendemos bien y que se explican mediante las teorías científicas vigentes. Nos permite también conocer la relación entre la ciencia y la cultura (y los valores) de una época determinada y analizar la influencia de las ciencias -de un estilo de *entender el mundo*- en el desarrollo de una sociedad (Izquierdo, 2000). Con esta finalidad en mente, revisar la historia de Nicolás Copérnico y de su época no resulta para nada fácil si se quiere encontrar *sentido educativo* a la reflexión.

La observación astronómica resurgió con fuerza en el siglo XV favorecida por cuestiones 'extracientíficas', tales como la necesidad de mayores certezas en las nuevas rutas de navegación y la reforma del calendario juliano, que estaba denotando un desfase sostenido respecto del año solar. Nicolás Copérnico (1473-1543) es hijo de esta época. Dedicó gran parte de su tiempo a recopilar información de sus antecesores, tales como Georg von Peurbach (1423-1461) y su discípulo más cercano Johannes Müller 'Regiomontanus' (1436-1476), quien desarrolló una investigación analítica de la obra de Claudio Ptolomeo en su versión griega original. En consecuencia, cuando decidió dedicar su vida a la astronomía, disponía de un cuerpo sistematizado de conocimientos que facilitaron el desarrollo y consolidación paulatina de sus *modelos teóricos*.

Según diversos estudios rigurosos en la materia (cf. Espoz, 1999), en 1543, Nicolás Copérnico, a los 70 años de edad, recibe en su lecho de muerte un 'obsequio simbólico'. Se trata de un ejemplar de la primera edición de su obra *La revolución de las esferas celestes*, 'falsificado' sagazmente por un grupo de intelectuales de la Iglesia luterana. En el texto se reducen las ideas científicas de Copérnico a simples hipótesis interpretativas que no deben ser asumidas como verdaderas. Esta 'falsificación' divulgó durante mucho tiempo las ideas de Copérnico desde una lógica y una racionalidad que traicionaron su espíritu original.

En este trabajo queremos revisar cómo el abuso de poder y la autoridad religiosa condicionaron la obra copernicana en una época en que la astronomía atravesaba contradicciones. No queremos perder de vista que nuestra reflexión está dirigida a la formación de profesores de Ciencias Naturales y, por tanto, realizamos una reflexión epistemológica con sentido didáctico, ambientada en el episodio de la historia de la ciencia que se examina aquí desde una visión realista pragmática de la ciencia y su enseñanza (Quintanilla, 2006).

2. Los inicios del científico polaco

Es el año de 1473 y, en el pueblo de Torun en Pomerania (en la actual Polonia), nace un niño que se convertirá años más tarde en una personalidad controvertida y polémica. Fue bautizado como Niklas Koppernigk; su nombre, latinizado 'Copernicus', aparecería en español como Nicolás Copérnico. Pero ¿quién fue Nicolás Copérnico?, ¿qué época le correspondió vivir?, ¿cuáles fueron sus principales aciertos en el campo de la ciencia?, ¿qué sabemos y qué no sabemos de él? Creemos que todas estas preguntas, independientemente de su valor historiográfico, pueden ser relevantes para la formación epistemológica e histórico-didáctica de los profesores de Ciencias Naturales

El padre de Copérnico era un próspero comerciante y funcionario municipal, pero falleció cuando su hijo aún no cumplía los diez años, siendo entonces adoptado por su tío directo Lukas Watzelrode, un religioso que llegará a ser obispo de Warmia (en alemán, Ermland). El tío se convertirá en su protector y motivará sistemáticamente sus posteriores investigaciones científicas.

Nicolás Copérnico es conocido por sus estudios en relación con el nuevo orden planetario; sin embargo, su curiosidad intelectual abarcó áreas tan diversas como el derecho, la medicina, las finanzas, la política y la teología. Además, se dedicó a escribir un libro sobre la reforma de la moneda polaca, anticipándose a ideas similares de Isaac Newton⁶⁴. Sin lugar a dudas, la máxima pasión de Copérnico sería preguntarse en torno a los cuerpos celestes. Se pasaba las noches sobre los tejados de la torre de su casa en las montañas, observando el cielo polaco a simple vista, pues aún no se inventaba el telescopio. Se dedicó a estudiar los eclipses de 1509, 1510 y 1511. Puso a prueba su modelo del movimiento de los planetas, en el que predijo la posición de Venus, Marte, Júpiter y Saturno, esperando pacientemente para comprobar que sus predicciones se cumplieran, lo que daba cuenta de que sus cálculos eran 'matemáticamente' correctos.

Copérnico había ingresado a estudiar astronomía en 1491 en la Universidad de Cracovia, en esos tiempos un célebre centro de investigación científica de Europa. Posteriormente se trasladó a la Italia florentina, donde aprendió matemáticas, medicina y derecho, siendo profesor de su ciencia preferida en la Universidad de Roma en 1500. Aquí enseñaba, paradójicamente, las ideas ptolemaicas, sin convencerse del todo de ellas. Copérnico sería nombrado canónigo en Frauenburg (Prusia) el año 1497, pero sólo se desplazaría definitivamente a ese pueblo el año 1513, permaneciendo allí hasta su muerte en 1543.

Unos quince años antes había dado a conocer una síntesis histórica de sus constructos científicos, titulada *Commentariolus*⁶⁵ (Comentario). En ese escrito, y mucho después del griego Aristarco de Samos (c. 310-230 a.C.), tuvo el 'atrevimiento' de narrar de manera brillante y elegante sus ideas con relación a que era el Sol, y no la

⁶⁴ Newton, veinticinco años antes de morir, dedicará parte de su tiempo a ser director de la Casa de Moneda inglesa.

⁶⁵ De *hypothesisibus motuum coelestium a se constitutis commentariolus*, 'Comentario sobre las teorías de los movimientos de los objetos celestes a partir de sus disposiciones'.

Tierra, el centro del Sistema Solar. Dieciocho siglos antes, Heraclides de Ponto había afirmado que dos planetas, Mercurio y Venus, giraban en torno al Sol. En sus narraciones, Copérnico atribuía a la Tierra tres movimientos específicos: uno llamado 'giro diario' sobre su propio eje, una órbita anual en torno al Sol y un tercer movimiento que explicaba la precesión de los equinoccios. Estas ideas, no del todo originales, pero sí formalizadas con mayor complejidad analítica que sus precursores, fueron cautelosamente divulgadas por Copérnico en una época en que la Iglesia controlaba las directrices básicas en relación con el conocimiento del orden establecido por Dios frente a la naturaleza. Además, el ambiente intelectual directo de Copérnico eran los prelados católicos que constituían su círculo de amigos de mayor confianza. El *Commentariolus* comenzaría a divulgarse hacia el año 1530 en medios cultos como tema de conversación y discusión, lo que motivaría a Georg Rheticus (1514-1576) a publicar la primera versión de las ideas copernicanas con carácter de teoría.

¿Por qué Copérnico se constituirá entonces en un personaje polémico? Es esta una época de reformas importantes y difíciles de asumir para Europa, que ahora mira hacia América con actitud maravillada y a la vez dubitativa. Francis Bacon quiere ser también un reformador de la ciencia y del método científico copernicano, pero fracasará en este intento: la *revolución científica* sería hecha por los propios científicos, y Bacon no era uno de ellos.

Entre 1540 y 1543 se producirá un gran revuelo político y religioso derivado de las nuevas ideas sobre el universo celeste. La polémica comenzará a acentuarse con la recién publicada obra de Copérnico, *De revolutionibus orbium coelestium*, dedicada al Papa Pablo III con el propósito de que la Iglesia católica respaldara las ideas allí contenidas. La primera edición del libro sería supervisada personalmente por Rheticus y se publicaría en la ciudad de Nuremberg, siendo su prologuista y editor Andreas Osiander, un pastor luterano que se oponía tozudamente a los postulados copernicanos.

Sin que Copérnico se enterara, Osiander añadió un prólogo donde señalaba que el libro no era un tratado científico, sino más bien una 'fantasía ociosa'. El prólogo restaría quizás importancia a la obra del científico polaco, afirmando taxativamente que ella contenía solo *hipótesis* que permitían calcular los movimientos celestes basándose en un método matemático convencional, pero que no pretendía que tales hipótesis fueran 'verdaderas', ni siquiera verosímiles, sino que exclusivamente permitieran hacer cálculos conformes con los hechos observacionales. Evidentemente, esta no era la opinión de Copérnico, pero como él se encontraba en su lecho de muerte, no supo de esta 'traición', evitándose un escándalo de proporciones mayores. La gran defensa científica de las ideas de Copérnico comenzaría luego con los aportes de Kepler y Galileo, quienes reafirmarían públicamente y con sólidos argumentos científicos la *hipótesis heliocentrista* que había postulado el polaco, a quien Martín Lutero había tratado algunos años antes de necio.

3. Copérnico y su época

Para Europa, los siglos XV y XVI significaron la expansión territorial, geopolítica, cultural y económica quizás más importante de su historia. Hubo un crecimiento significativo de la población, con todo lo que ello implicó para los gobernantes monárquicos de la época: abusos de poder, consolidación de reinados, conflictos religiosos, invasiones y guerras, nuevas fronteras, epidemias, el descubrimiento de América. En la época de Copérnico, Polonia tendrá como fronteras físicas el Imperio Otomano, Rusia, Suecia y el Imperio Germánico, que se encontraba en un momento de desintegración, acentuado por las persistentes discordias religiosas. Hacia el 1500, el cristianismo estaba arraigado con gran fuerza en Europa, siendo la Iglesia católica su institución central.

En este sentido, una aproximación al análisis didáctico de los conceptos científicos, contenidos en las aportaciones de Nicolás Copérnico, nos lleva a la necesidad de bucear, aunque sea un poco, en el complejo escenario social, político, cultural y religioso del tiempo que le correspondió vivir. Los alcances de la filosofía natural de la época condicionaron todo logro interpretativo del hombre. Los humanistas de ese momento histórico buscaban la renovación del hombre y de la sociedad a través de la orientación occidental clásica proveniente de la cultura griega. Esto es muy importante puesto que la filosofía natural surgirá solamente en el Occidente cristiano y será el referente de reflexión que conducirá y condicionará la evolución del pensamiento humano por muchísimo tiempo. Los llamados filósofos naturales evocan la tradición grecolatina como referente cultural y axiológica para continuar con el progreso intelectual de la humanidad. El hombre es pues el centro de su interés. Pero si bien es cierto que los aristotélicos estaban mucho más preocupados por el estudio de la naturaleza, el teocentrismo medieval cede ante una visión antropocentrista y cosmocentrista del Renacimiento que redireccionará el curso de la historia de la ciencia y, con ello, el desarrollo y divulgación del nuevo conocimiento a las diferentes audiencias.

Evidentemente, la astronomía no es toda la ciencia del Renacimiento; sin embargo, podríamos decir que es allí donde se gesta la llamada *revolución científica*, es decir, un primer cambio paradigmático de grandes proporciones. En el plano teórico, el modelo aristotélico-ptolemaico, que había sido considerado verdadero durante catorce siglos, es sustituido por un nuevo modelo; a la vez, se producen profundas alteraciones en el plano metodológico. Las causas de esta sustitución son numerosas y han sido estudiadas con gran profundidad por algunos autores especializados en el tema (Espoz, 1999). Nos interesa aquí sólo apuntar que el sistema de interpretación egipcio y griego parecía cada vez más insuficiente para explicar coherentemente los hechos observables. Esta es quizás la razón esencial que motivó a Copérnico a orientar sus estudios en otra dirección, aun cuando se alejaba muy poco del modelo científico aristotélico-ptolemaico. Se retornó a los ideales del modelo científico de Platón y Pitágoras, que habían sido referencias científicas por excelencia del Renacimiento.

Por otra parte, la evaluación, el análisis y la interpretación de los grandes descubrimientos geográficos de la época (entre ellos, el redescubrimiento de América) pusieron en el escenario de la discusión esta visión clásica del Universo y de su funcionamiento. Estos descubrimientos estaban 'alterando' la imagen de la Tierra, y demostraban que Ptolomeo se había equivocado. Todo esto daba argumentos bastante sólidos para promover una gran 'reforma' astronómica; aun cuando no era consciente de lo que ello significaría para la humanidad en su conjunto, Copérnico estaba iniciando una revolución científica, diríamos, irreversible.

4. El pensamiento de Copérnico

Según Copérnico, el sistema ptolemaico, con su intrincado anidamiento de *epiciclos* y *deferentes*, no satisfacía la exigencia de simetría y simplicidad que él pensaba como sello mismo de la verdad. Ptolomeo había supuesto que los planetas se movían en círculos con velocidades angulares que no eran uniformes respecto de sus centros, sino que lo eran respecto a puntos externos a ellos (Papp, 1996; Masón, 2001). Sin embargo, el problema principal que diagnosticaba el joven polaco eran los denominados 'axiomas físicos' de los antiguos estudiosos, insistiendo en que 'algo' se había omitido en las visiones astronómicas clásicas, o bien, que simplemente se admitía un cuerpo de ideas poco consistente. Copérnico se dio cuenta de que las civilizaciones antiguas habían agregado los tres movimientos de la Tierra a todos y cada uno de los cuerpos celestes conocidos, con el propósito de crear un esquema en el que la Tierra permaneciese en una situación de reposo en el centro del Universo. Copérnico expresaba con elegancia:

Con ninguna disposición he encontrado simetría tan maravillosa, conexión tan armónica de los astros, como colocando la antorcha del mundo, el Sol, que gobierna las revoluciones circulares de toda la familia de los astros, sobre el trono en medio del magnífico templo de la naturaleza⁶⁶.

Siguiendo las ideas de los pitagóricos, insistió en la argumentación de que las órbitas celestes debían ser circulares, puesto que para la tradición aristotélica el círculo constituía la figura geométrica perfecta. Asimismo, asumió la esfericidad de todos los planetas, atreviéndose incluso a señalar que la forma del Universo era esférica. Recordemos que aún no se inventaba el telescopio y que, pese a ello, las precisiones geométricas y astronómicas de Copérnico fueron más que meritorias para su época con los instrumentos disponibles.

¿Por qué surge entonces una lectura 'alterada' o una interpretación intencionalmente errónea de la obra de Nicolás Copérnico en el prólogo de su libro? ¿Qué consecuencias tuvo esto para la validación, la divulgación y la enseñanza de los temas relacionados con el funcionamiento del Universo a partir del siglo XVI?

⁶⁶ Citado por Papp (1996:102).

5. La falsificación luterana se hace evidente

En el libro *El destierro de Dios*, Espoz (1999) plantea desde un análisis histórico-crítico y, en consecuencia, interpretativo-dialógico, la tesis de la existencia de lo que él llama una *justificación luterana del método científico copernicano*⁶⁷. En su complejo análisis se proveen algunas interpretaciones del episodio que estamos proponiendo para la formación del profesorado de Ciencias Naturales.

Previo al cisma religioso provocado por Lutero y Calvino, 'la visión cristiana asume que existe un Dios creador y una estructura sabia de la creación que es la huella del Artífice. El nuevo conocimiento filosófico se dirige hacia el Universo, en el cual podemos aprehender la huella del Creador'⁶⁸. En virtud de ello, para un estudioso de la filosofía natural el objeto de interpretación y análisis será la naturaleza misma, mediante la contemplación sistemática de la realidad.

Con el advenimiento de la crisis de los dogmas religiosos de la época, y con ello el cisma de la Iglesia de San Pedro, el surgimiento del protestantismo produjo una interpretación científica diferente del movimiento de los cuerpos celestes. El origen de la discusión se generó en Alemania con Martín Lutero, con lo que él mismo llamó la 'justificación de la fe', que se tradujo en los *tres rechazos*⁶⁹, a saber: rechazo a la filosofía natural, pérdida de la recta razón y de la voluntad buena, y lectura literal de las sagradas escrituras. En relación con el primer punto, Lutero negará la posibilidad del conocimiento humano a partir de la realidad e inclusive la negación misma de todo conocimiento humano. ¿Qué significa esto? Simplemente que la capacidad cognoscente humana es falible y que, en consecuencia, las verdades del mundo no son posibles de descifrar o axiomatizar, ya que dependen directamente de la voluntad divina.

En alusión a la pérdida de la recta razón y de la voluntad buena, Lutero plantea la profunda miseria humana y, en virtud de ella, señala que la filosofía natural es un fruto pagano intolerable por los que se dicen verdaderos cristianos. Esta filosofía, según Lutero, estimula un pensamiento que se constituye en una amenaza a los dogmas de la Iglesia Universal. Finalmente, si se admitían y enseñaban los principios físico-matemáticos tal cual los planteaba Nicolás Copérnico, la Biblia se convertía en un texto sin sentido para él y sus seguidores, tal como lo señala Espoz en su libro. Por tanto, de ahí que se piense que, desde la óptica de Lutero y sus discípulos más ortodoxos, el modelo interpretativo copernicano podía transformarse en un grave riesgo social, cultural, político y religioso para el nuevo orden teológico europeo de comienzos del siglo XVI.

Era necesario entonces el surgimiento de una diversidad de estrategias que desvirtuara intencionalmente la propuesta científica de Copérnico para evitar poner en duda los planteamientos más dogmáticos defendidos por Martín Lutero. Para ello, los intelectuales y teólogos luteranos se esfuerzan en presentar, enseñar e interpretar la

⁶⁷ Ver página 81 y siguientes.

⁶⁸ Ver páginas 17 y 18 de la obra de Espoz.

⁶⁹ Los autores de este capítulo hacemos una reinterpretación

obra científica copernicana como un conjunto de *hipótesis instrumentales* en modo alguno comprobables por medio de la razón humana. En el prólogo de la primera edición de *De revolutionibus* se advierte al lector el carácter totalmente hipotético de la obra y, como señala Espoz, se propone que el estudio de los cuerpos celestes (y por ende la lectura del libro) sea restringido a los entendidos en geometría; se quiere evitar con ello la propagación masiva del *copernicanismo* por los centros de investigación y educación europeos. Además, era del todo necesario proteger la Teología de la Cruz luterana con la taxativa advertencia de que el hombre *no puede conocer la naturaleza* mediante el intelecto, que el conocimiento científico sólo se da en la revelación divina, inalcanzable para cualquier mortal. Lutero y sus discípulos se encargaron en ese momento de fabricar una 'falsificación' de los manuscritos copernicanos y con ello 'producir el exilio científico de Dios', para usar una frase significativa aludiendo a las investigaciones de Espoz (Quintanilla, 2000). Al disponer del manuscrito, los luteranos pudieron hacer una tergiversación a medida, conforme a sus intereses y finalidades.

En el prefacio anónimo *Al lector sobre los propósitos de esta obra*, con un afán netamente reduccionista se transforma el contenido de *De revolutionibus* a hipótesis imaginadas, que no han de ser tenidas por verdaderas ni por reales. El propósito es salvaguardar la interpretación literal de las Sagradas Escrituras de las nuevas concepciones paganas sobre la relación entre el hombre, Dios y el conocimiento científico. Pero quizás lo que hacen es 'redefinir' el concepto de hipótesis apoyándose en una tradición heredada de la matemática clásica para resguardar la doctrina luterana. También, como señala Espoz, incluyeron en el texto la fundamentación teológica de la concepción aniquiladora del hombre propuesta por Lutero, planteando que si bien es propio del astrónomo examinar la historia de los movimientos celestes a través de una diligente y concienzuda observación, no es necesario que sus proposiciones sean verdaderas, ni siquiera verosímiles, sino que es suficiente una sola cosa: que proporcionen un cálculo formal de acuerdo con tal observación. Se trata entonces de 'salvar lo empírico' de la realidad.

Serán Galileo Galilei y Giordano Bruno algunos años más tarde quienes asumirán la defensa póstuma de Copérnico retomando algunas ideas clásicas sobre la formalización del conocimiento científico para estudiar la 'naturaleza cambiante del Universo'. Al respecto dirá Galileo:

*La filosofía está escrita en ese grandísimo libro que tenemos abierto ante los ojos -quiero decir, el Universo-, pero no se puede entender si antes no se aprende a entender la lengua, a conocer los caracteres en que está escrito. Está escrito en lengua matemática, y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin las cuales es imposible entender ni una palabra. Prescindir de estos caracteres es como girar vanamente en un oscuro laberinto*⁷⁰.

Por su parte, Giordano Bruno, filósofo italiano⁷¹, lee los manuscritos de Copérnico en una época en que la obra no estaba del todo divulgada y era poco conocida

⁷⁰ El Ensayador, de Galileo Galilei, 1623.

⁷¹ Morirá en la hoguera en 1600, condenado por hereje. Defendió con pasión las ideas de Copérnico contra la filosofía escolástica basada en Aristóteles.

en el ambiente intelectual más docto. Comprende que Copérnico no logró profundizar todas y cada una de las consecuencias científicas del heliocentrismo, situándose en una visión fuertemente matemática sin llegar a modelizar muchos aspectos de la realidad. Para Giordano Bruno no bastan las matemáticas, ni los grandes clásicos de la historia como Aristóteles, Pitágoras y Platón. Defenderá muy en serio las ideas originales de Copérnico, superando la noción de 'ficción útil' planteada por los luteranos, afirmando que efectivamente la Tierra se mueve en torno al Sol. Sobre la base de las ideas del polaco, Bruno afirmará que el sistema aristotélico es falso. Con una visión de corte más bien panteísta, demostró con una metodología no del todo correcta que el Sol era más grande que la Tierra, afirmando que el Universo es infinito y en él se encuentran infinitos mundos posibles. Tampoco es sencillo determinar el centro del Universo, ni menos aún su circunferencia.

Es en este escenario de controversias cuando la Iglesia católica rechaza y denuncia formalmente la visión luterana en torno a la realidad, su naturaleza y universalidad divina. Como lo colige el profesor Espoz, la posición de la Iglesia católica fue radicalmente distinta a la de los protestantes. No solo apoyó la tesis copernicana, sino que en cierto sentido, dada la pugna con los 'hermanos en la fe', obligó a publicar, divulgar y enseñar el modelo heliocéntrico. Fue el Papa Clemente VII quien examinó rigurosamente las ideas y principios defendidos por Galileo Galilei, Giordano Bruno y más tarde por Isaac Newton. Este apoyo se ve coronado por una carta que el cardenal de Capua, Nicolás Schonberg, procurador general de la orden de Santo Domingo, había escrito a Copérnico en 1536 en el papado de Pablo III (1534-1549). Sin embargo, los luteranos se las arreglan para publicar esta carta y ridiculizar a la Iglesia católica por estimular la divulgación y enseñanza de doctrinas y teorías absurdas sobre la ciencia y su naturaleza. Será Isaac Newton (1642-1727) quien arremeterá nuevamente contra los luteranos un siglo más tarde, momento en el que para muchos autores se consolida la llamada 'revolución científica' iniciada por las ideas de Copérnico.

6. Copérnico y la formación de los profesores de ciencias naturales

Para encontrar valor educativo a las reflexiones aquí expuestas, nos apoyamos en una visión *realista y racionalista moderada* de la ciencia, considerando que es la más adecuada para el currículo de Ciencias Naturales en la educación para todos y todas. Por tanto, consideramos que una concepción estrechamente instrumental del tejido hipotético de las ciencias, que lo reduce a ficciones útiles para dar cuenta de la fenomenología, desdibuja el valor intelectual y material de las Ciencias Naturales en la cultura humana y en la formación de los ciudadanos.

Nos interesa recalcar con los profesores que la manera en que a lo largo de los siglos se ha ido construyendo y reconstruyendo la historia de la ciencia (y con ella, su divulgación y enseñanza) es a veces compleja, otras misteriosa y en algunos casos marcadamente controvertida. No podemos saber absolutamente todo *acerca de y sobre lo que es* un hecho histórico de la ciencia, diríamos de manera absolutamente precisa.

Hay situaciones educativas en que la ciencia se vuelve una retórica vacía de grandes logros, generando reconocimiento social, cultural e inclusive religioso. Las construcciones altamente arbitrarias derivadas de este tipo de enseñanza están desconectadas de la realidad histórica y epistemológica de las disciplinas científicas, y por tanto la educación científica no alcanza a ser fuente de conocimiento sabio, dinámico y genuino cuando se la comunica y enseña a otros. Frente a esto, nosotros hemos propuesto recuperar una historia de la ciencia centrada en la complejidad de la comprensión y la enseñanza de los 'hechos científicos'. Esto nos parece muy importante, puesto que si no, ¿de qué hablarían la epistemología y la didáctica si no se fijan en lo que *hacen* los científicos? ¿Estáramos captando algo esencialmente *educativo* del conocimiento, formalizándolo con independencia del trabajo de los científicos? Creemos que la respuesta es no. No hay reglas de conocimiento abstractas, independientes del trabajo que hacen los científicos en un momento particular de la historia que les corresponde vivir (Quintanilla et al, 2005).

Y el conocido contrapunto a esta reflexión es que la historia sin la filosofía es ciega. No sabría ver nada en el trabajo que están haciendo los científicos. Necesitamos una reflexión epistemológica sobre el trabajo científico para sacar a partir de allí ideas sobre la construcción del conocimiento humano, su uso y sus valores. En síntesis, en la enseñanza, divulgación y construcción del conocimiento científico, hemos de estar conscientes de su descubrimiento, justificación, su aplicación y su enseñanza, para comprender los misterios y encrucijadas, debilidades y fortalezas, muchas veces mistificadas por una historia incompleta con poco valor educativo. Como lo señala Papp (1996), tal vez nadie haya logrado expresar la trascendencia del pensamiento copernicano más gráficamente que el poeta alemán Johann Wolfgang Goethe, quien hacia 1820, meditando sobre las complejas y más grandes conmociones intelectuales que habían generado nuevas rutas al pensamiento moderno, evocó a Nicolás Copérnico y dijo:

Este apacible canónigo ha sido el más revolucionario de los reformadores, puesto que al invertir las posiciones respectivas de la Tierra y el Sol, no sólo renovó la astronomía, sino que dotó a la humanidad de una conciencia cósmica.

7. Aplicación: la 'introducción' a una de las obras de copérnico

Un claro ejemplo -ya mencionado y que refuerza lo expuesto en este capítulo- es el texto contenido en la obra de Copérnico *De revolutionibus orbium coelestium*, editada por primera vez en 1543, y que incluyó en sus primeras páginas la siguiente introducción:

Sobre las Revoluciones de las Orbes Celestes"

Introducción

Divulgada ya la fama acerca de la novedad de las hipótesis de esta obra, que considera que la Tierra se mueve y que el Sol está inmóvil en el centro del Universo, no me extraña que algunos eruditos se hayan ofendido vehementemente y consideren que no se deben modificar las

disciplinas liberales constituidas correctamente ya hace tiempo. Pero si quieren ponderar la cuestión con exactitud, encontrarán que el autor de esta obra no ha cometido nada por lo que merezca ser reprendido. Pues es propio del astrónomo calcular la historia de los movimientos celestes con una labor diligente y diestra. Y además, concebir y configurar las causas de estos movimientos, o sus hipótesis, cuando por medio de algún procedimiento racional puede averiguar las verdaderas causas de ellos. Y con tales supuestos pueden calcularse correctamente dichos movimientos a partir de los principios de la geometría, tanto mirando hacia el futuro como hacia el pasado. Ambas cosas ha establecido este autor de modo muy notable. Y no es necesario que estas hipótesis sean verdaderas, ni siquiera que sean verosímiles, sino que se basta con que muestren un cálculo coincidente con las observaciones, a no ser que alguien sea tan ignorante de la geometría o de la óptica que tenga por verosímil el epiciclo de Venus, o crea que esa es la causa por la que precede unas veces al Sol y otras le sigue en cuarenta grados o más. ¿Quién no advierte, supuesto esto, que necesariamente se sigue que el diámetro de una estrella en el perigeo es más de cuatro veces mayor; y su cuerpo más de dieciséis veces mayor de lo que aparece en el apogeo, a lo que, sin embargo, se opone la experiencia de cualquier edad? También en esta disciplina hay cosas no menos absurdas o que en este momento no es necesario examinar. Está suficientemente claro que este arte no conoce completa y absolutamente las causas de los movimientos aparentes desiguales. Y si al suponer algunas, y ciertamente piensa muchísimas, en modo alguno suponga que puede persuadir a alguien [en que son verdad], sino tan sólo para establecer correctamente el cálculo. Pero ofreciéndose varias hipótesis sobre uno solo y el mismo movimiento (como la excentricidad y el epiciclo en el caso del movimiento del Sol) el astrónomo tomará la que con mucho sea la más fácil de comprender. Quizá el filósofo busque más la verosimilitud, pero ninguno de los dos comprenderá o transmitirá nada cierto, a no ser que le haya sido revelado por la divinidad. Por lo tanto, permitamos que también estas nuevas hipótesis se den a conocer entre las antiguas, no como más verosímiles, sino porque al mismo tiempo admirables y fáciles y porque aportan un nuevo tesoro de sapientísimas observaciones. Y no espere nadie, en lo que respecta a las hipótesis, algo cierto de la astronomía, pues no puede proporcionarlo; para que no salga de esta disciplina más estúpido de lo que entró, si toma como verdad lo imaginado para otro uso. Adiós⁷².

Un texto original o fuente primaria -como el anterior- es valorado por su capacidad de brindar información de primera fuente sobre aspectos básicos de la ciencia y el trabajo científico, como son emergencia y evolución de conceptos, coexistencia de teorías alternativas, formulación y contrastación de hipótesis, diseño de experimentos, comunicación científica, etc. (Fernández, 2000). Además, son útiles para constatar diferencias con la ciencia actual de nuestros libros y materiales, pues la presentación de unos mismos hechos con una terminología y un formalismo distintos al habitual obliga -para establecer las correspondencias necesarias- a un trabajo de análisis que contribuye a la clarificación de los conceptos científicos.

Los fragmentos originales -como el expuesto- incrementan su efectividad si se presentan acompañados de una introducción y seguidos de una serie de cuestiones que hagan referencia al texto ofrecido a la audiencia (Fernández, 2000). Es así como en este caso se podría preguntar (a los alumnos o a los profesores de ciencias), a modo de ejemplo: ¿cuál es la labor de los astrónomos en la construcción del conocimiento?, ¿qué hace que el conocimiento se transforme en 'verdad?', ¿es coincidente esta 'introducción' con la ideas desarrolladas por Copérnico en su obra?, ¿qué idea o concepto de 'ciencia' manifiesta el autor de esta 'introducción'?

⁷² La versión castellana que aquí se reproduce se debe a Carlos Mínguez y Mercedes Testal y fue publicada en Madrid por Editora Nacional el año 1982.

Otro fragmento original, que aparece a continuación del texto ya presentado en el libro de Copérnico, es el Prefacio y dedicatoria al Papa Paulo III:

Śantísimo Padre, puedo estimar suficientemente lo que sucederá en cuanto algunos aprecien, en estos libros míos, que he escrito acerca de las revoluciones de las esferas del mundo, que atribuyo al globo de la Tierra algunos movimientos y clamarán para desaprobarme por tal opinión. Pues no me satisfacen hasta tal punto mis opiniones, como para no apreciar lo que otros juzguen de ellas. Y aunque sé que los pensamientos del hombre filósofo están lejos del juicio del vulgo, sobre todo porque su afán es buscar la verdad en todas las cosas, en cuanto esto le ha sido permitido por Dios a la razón humana; sin embargo, considero que debe huirse de las opiniones extrañas que se apartan de lo justo. Y así, al pensar yo conmigo mismo, cuán absurdo estimarían el ἀκρόαμα [esta cantinela] aquellos que, por el juicio de muchos siglos, conocieran la opinión confirmada de que la Tierra inmóvil está colocada en medio del cielo como su centro, si yo, por el contrario, asegurara que la Tierra se mueve, entonces largo tiempo dudé en mi interior; si dar a la luz mis comentarios escritos sobre la demostración de ese movimiento o si, por el contrario, sería suficiente seguir el ejemplo de los pitagóricos y de algunos otros, que no por escrito, sino oralmente, solían transmitir los misterios de su filosofía únicamente a amigos y próximos, como testifica Lysis en su carta a Hiparco. Pero a mí me parece que no hicieron esto, como juzgan algunos, por un cierto recelo a comunicar sus doctrinas, sino para que asuntos tan bellos, investigados con mucho estudio por los grandes hombres, no fueran despreciados por quienes les da pereza el dedicar algún trabajo a las letras, excepto a lo lucrativo, o sí, siendo excitados por las exhortaciones y el ejemplo de otros hacia el estudio liberal de la filosofía, por la estupidez de su ingenio se movieran entre los filósofos como los zánganos entre las abejas. Considerando, pues, conmigo mismo estas cosas, el desprecio que yo debía temer a causa de la novedad y absurdo de mi opinión, casi me había empujado a interrumpir la obra ya organizada.

Pero los amigos me hicieron cambiar de opinión, a mí que durante tanto tiempo dudaba y me resistía. Entre ellos fue el primero Nicolás Schönberg, cardenal de Capua, célebre en todo género de saber. Próximo a él estuvo mi muy querido e insigne Tiedemann Giese, obispo de Culm, estudiosísimo de las letras sagradas, así como también de todo buen saber. Éste me exhortó muchas veces, y añadiendo con frecuencia los reproches, insistió para que publicara este libro y lo dejara salir a la luz, pues retenido por mí había estado en silencio, no sólo nueve años, sino ya cuatro veces nueve. A lo mismo me impulsaron otros muchos varones eminentes y doctos, exhortándome para que no me negara durante más tiempo, a causa del miedo concebido, a presentar mi obra para la común utilidad de los estudiosos de las matemáticas. Decían que, cuanto más absurda pareciera ahora a muchos esta doctrina mía sobre el movimiento de la Tierra, tanta más admiración y favor tendría después de que, por la edición de mis comentarios, vieran levantada la niebla del absurdo por las clarísimas demostraciones. En consecuencia, convencido por aquellas persuasiones y con esta esperanza, permití a mis amigos que hiciesen la edición de la obra que me habían pedido tanto tiempo.

Y quizá, Vuestra Santidad no admirará tanto el que me haya atrevido a sacar a la luz estas lucubraciones, después de tomarme tanto trabajo en elaborarlas, como el que no haya dudado en poner por escrito mis pensamientos sobre el movimiento de la Tierra. Pero lo que más esperará oír de mí es, qué me pudo haber venido a la mente para que, contra la opinión recibida de los matemáticos e incluso contra el sentido común, me haya atrevido a imaginar algún movimiento de la Tierra. Y así, no quiero ocultar a Vuestra Santidad, que ninguna otra cosa me ha movido a meditar sobre otra relación [estructura] para deducir los movimientos de las esferas del mundo, sino el hecho de comprender que los matemáticos no están de acuerdo con aquellas investigaciones. Primero, porque estaban tan inseguros sobre el movimiento del Sol y de la Luna que no podían demostrar ni observar la magnitud constante de la revolución

anual. Después, porque al establecer los movimientos, no sólo de aquéllos, sino también de las otras cinco estrellas errantes, no utilizan los mismos principios y supuestos, ni las mismas demostraciones en las revoluciones y movimientos aparentes. Pues unos utilizan sólo círculos homocéntricos, otros, excéntricos y epiciclos, con los que no consiguen plenamente lo buscado. Pues los que confían en los homocéntricos, aunque hayan demostrado algunos movimientos diversos de los que pueden componerse, no pudieron deducir de ello nada tan seguro que respondiera sin duda a los fenómenos. Mas los que pensaron en los excéntricos, aunque en gran parte parecían haber resuelto los movimientos aparentes por medio de cálculos congruentes con ellos, sin embargo admitieron entre tanto muchas cosas que parecen contravenir los primeros principios acerca de la regularidad del movimiento. Tampoco pudieron hallar o calcular partiendo de ellos lo más importante, esto es, la forma del mundo y la simetría exacta de sus partes, sino que les sucedió como si alguien tomase de diversos lugares manos, pies, cabeza y otros miembros auténticamente óptimos, pero no representativos en relación a un solo cuerpo, no correspondiéndose entre sí, de modo que con ellos se compondría más un monstruo que un hombre. Y así, en el proceso de demostración que llaman «método» olvidaron algo de lo necesario, o admitieron algo ajeno, o que no pertenece en modo alguno al tema. Y esto no les hubiese sucedido en modo alguno si hubieran seguido principios seguros. Pues si las hipótesis supuestas por ellos no fueron falsas, todo lo que de ellas se deduce se podría verificar sin lugar a dudas. Y aunque lo que ahora digo es oscuro, en su lugar se hará claro.

En consecuencia, reflexionando largo tiempo conmigo mismo sobre esta incertidumbre de las matemáticas transmitidas para calcular los movimientos de las esferas del mundo, comenzó a enojarme que a los filósofos, que en otras cuestiones han estudiado tan cuidadosamente las cosas más minuciosas de ese orbe, no les constara ningún cálculo seguro sobre los movimientos de la máquina del mundo, construida para nosotros por el mejor y más regular artífice de todos. Por lo cual, me esforcé en releer los libros de todos los filósofos que pudiera tener, para indagar si alguno había opinado que los movimientos de las esferas eran distintos a los que suponen quienes enseñan matemáticas en las escuelas. Y encontré en Cicerón que Niceto fue el primero en opinar que la Tierra se movía. Después, también en Plutarco encontré que había algunos otros de esa opinión, cuyas palabras, para que todos las tengan claras, me pareció bien transcribir:

«Algunos piensan que la Tierra permanece quieta, en cambio Filolao el Pitagórico dice que se mueve en un círculo oblicuo alrededor del fuego, de la misma manera que el Sol y la Luna. Heraclides el del Ponto y Ecfanto el Pitagórico piensan que la Tierra se mueve pero no con traslación, sino como una rueda, alrededor de su propio centro, desde el ocaso hasta el orto⁷³».

En consecuencia, aprovechando esa ocasión empecé yo también a pensar sobre la movilidad de la Tierra. Y aunque la opinión parecía absurda, sin embargo, puesto que sabía que a otros se les había concedido tal libertad antes que a mí, de modo que representaban algunos círculos para demostrar los fenómenos de los astros, estimé que fácilmente se me permitiría experimentar; si, supuesto algún movimiento de la Tierra, podrían encontrarse en la revolución de las órbitas celestes demostraciones más firmes que lo eran las de aquéllos.

Y yo, supuestos así los movimientos que más abajo en la obra atribuyo a la Tierra, encontré con una larga y abundante observación que, si se relacionan los movimientos de los demás astros errantes con el movimiento circular de la Tierra, y si los movimientos se calculan con respecto a la revolución de cada astro, no sólo de ahí se siguen los fenómenos de aquéllos, sino que también el orden y magnitud de los astros y de todas las órbitas, e incluso el cielo mismo, se ponen en conexión; de tal modo que en ninguna parte puede cambiarse nada, sin la confusión de las otras partes y de todo el universo. De ahí también, que haya seguido en el transcurso de la obra este orden, de modo que en el libro primero describiré todas las posiciones de las

⁷³ De placitis philosophorum, III, 13.

órbitas con los movimientos que le atribuyo a la Tierra, de modo que ese libro contenga como la constitución común del universo. Después, en los restantes libros, relaciono los movimientos de los demás astros y de todas las órbitas con la movilidad de la Tierra, para que de ahí pueda deducirse en qué medida los movimientos y apariencias de los demás astros y órbitas pueden salvarse, si se relacionan con el movimiento de la Tierra. No dudo que los ingeniosos y doctos matemáticos concordarán conmigo, si, como la filosofía exige en primer lugar, quisieran conocer y explicar, no superficialmente sino con profundidad, aquello que para la demostración de estas cosas ha sido realizado por mí en esta obra. Pero, para que tanto los doctos como los ignorantes por igual vieran que yo no evitaba el juicio de nadie, preferí dedicar estas lucubraciones a Vuestra Santidad antes que a cualquier otro, puesto que también en este remotísimo rincón de la Tierra, donde yo vivo, sois considerado como eminentísimo por la dignidad de vuestra orden y también por vuestro amor a todas las letras y a las matemáticas, de modo que fácilmente con vuestra autoridad y juicio podéis reprimir las mordeduras de los calumniadores, aunque está en el proverbio que no hay remedio contra la mordedura de un sicofoante.

Si por casualidad hay ατασιολόγοι [charlatanes] que, aun siendo ignorantes de todas las matemáticas, presumen de un juicio sobre ellas por algún pasaje de las Escrituras, malignamente distorsionado de su sentido, se atrevieran a rechazar y atacar esta estructuración mía, no hago en absoluto caso de ellos, hasta el punto de que condenaré su juicio como temerario. Pues no es desconocido que Lactancio, por otra parte célebre escritor, aunque matemático mediocre, habló puerilmente de la forma de la Tierra, al reírse de los que transmitieron que la Tierra tiene forma de globo. Y así, no debe parecernos sorprendente a los estudiosos, si ahora otros de esa clase se rien de nosotros. Las matemáticas se escriben para los matemáticos, a los que estos trabajos nuestros, si mi opinión no me engaña, les parecerán que aportan algo a la república eclesiástica, cuyo principado tiene ahora Vuestra Santidad. Pues así, no hace mucho, bajo León X, en el concilio de Letrán, cuando se trataba de cambiar el calendario eclesiástico, todo quedó indeciso únicamente a causa de que las magnitudes de los años y de los meses y los movimientos del Sol y de la Luna aún no se consideraban suficientemente medidos. Desde ese momento dediqué mi ánimo a observar estas cosas con más cuidado, estimulado por el muy preclaro varón Pablo, obispo de Fossombrone, que entonces estaba presente en estas deliberaciones. Pero lo que he proporcionado en esta materia, lo dejó ajuicio principalmente de Vuestra Santidad y de todos los demás sabios matemáticos: y para que no parezca a Vuestra Santidad que prometo más utilidad en la obra de la que puedo presentar, paso ahora a lo construido⁷⁴.

Retomando la idea de Fernández (2000), en este caso se podrían plantear las siguientes cuestiones (a los alumnos o a los profesores de ciencias) referidas al texto, a modo de ejemplo: ¿por qué la obra de Copérnico está dedicada a una autoridad eclesiástica de la época?, ¿cómo sería hoy en día el 'prefacio y dedicatoria' de un libro científico como el de Copérnico, en cuanto a su terminología y formalismo?, ¿cómo justifica Copérnico ante el Papa la publicación de su obra?, ¿por qué Copérnico utiliza ciertos conceptos del griego y hace referencia a variados autores griegos en el texto?, ¿por qué se hace referencia, en repetidas ocasiones, a matemáticos y filósofos?, ¿qué rol desempeñaban los filósofos y matemáticos en la 'ciencia de la época'?

⁷⁴ La versión castellana que aquí se reproduce se debe a Carlos Mínguez y Mercedes Testal y fue publicada en Madrid por Editora Nacional el año 1982.

⁷⁵ Johan Wolfgang von Goethe (1749-1831)

8. Conclusiones

Finalmente, a modo de reflexión, cabe preguntarse: ¿modificaríamos la estrategia y los contenidos que habitualmente utilizamos para enseñar 'la revolución copernicana' a la luz de lo expuesto en este capítulo? Si es así, ¿qué variaciones introduciríamos? ¿Cómo lo haríamos? Citando nuevamente a Goethe⁷⁵:

De las opiniones y descubrimientos, ninguna debe haber ejercido mayor efecto sobre el espíritu humano que la doctrina copernicana. Apenas el mundo había sido considerado como redondo y completo en sí mismo, cuando se le pidió que renunciara al tremendo privilegio de ser el centro del Universo. Quizá nunca se haya hecho una petición tan exigente a la humanidad, ya que, al admitirla, tantas cosas se desvanecían en humo y niebla. ¿Qué se hizo del Edén, nuestro mundo de inocencia, piedad y poesía?; ¿qué se hizo del testimonio de los sentidos, de las convicciones de una fe poético-religiosa? No sorprende que sus contemporáneos rehusaran perder todo eso y presentaran toda la resistencia posible a una doctrina que autorizaba y exigía de sus conversos una libertad de miras y una grandeza de pensamiento desconocidas, ni tan siquiera soñadas, hasta entonces.

Agradecimientos

Este capítulo sigue las orientaciones teóricas y metodológicas del **Proyecto COLCIENCIAS-CONICYT Folio: PCCI130073** y del **Proyecto de Movilidad Académica DRI-UC 024/14** que dirige el Dr. Mario Quintanilla Gatica.

Lista de referencias bibliográficas

- BARONA, J.L. (1994). *Ciencia e historia. Debates y tendencias en historiografía de la ciencia*. Barcelona: Seminari d'Estudis sobre la Ciència.
- CROMBIE, A. (1993). *Estilos de pensamiento científico a comienzos de la Europa Moderna*. Seminario de Estudios sobre la Ciencia. Barcelona, España.
- DE REGULES, S. (1999). *Nicolás Copérnico. El renovador involuntario*. Santiago de Chile: Andrés Bello.
- ESPOZ, R. (1999). *El destierro de Dios*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- FERNÁNDEZ, M. (2000) *Fundamentos Históricos*. En: F. J. Perales & P. Cañal (Eds.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y Práctica de la Enseñanza de las Ciencias* (pp. 65-83). Alcoy, España: Editorial Marfil.
- HAWKING, S. (2003) *A hombros de gigantes. Las grandes obras de la física y la astronomía* (2a ed.) Barcelona, España: Crítica.
- KRAGH, H. (1989). *Introducción a la historia de la ciencia*. Barcelona: Crítica. (Edición original en inglés de 1987)
- HODSON, D. (1988). *Filosofía de la ciencia y educación científica*. En: Porlán, R; García, J.E. y Cañal, P (comps.). *Constructivismo y enseñanza de las ciencias*. Sevilla: Diada.
- IZQUIERDO, M. (2000). *Fundamentos epistemológicos*. En: Perales, F.J. y Cañal, P (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales*, pp. 35-64. Alcoy: Marfil.
- MASÓN, S. (2001). *Historia de la ciencia*. Madrid: Alianza.
- MATTHEWS, M. (1994). *Science teaching. The role of history and philosophy of science*. Nueva York: Routledge.

- SARTON, G. (1965). *Historia de la ciencia*. Buenos Aires: Eudeba.
- PAPP, D. (1996). *Historia de las ciencias. Desde la antigüedad hasta nuestros días*. Santiago de Chile: Andrés Bello.
- QUINTANILLA, M. (2000). *El exilio científico de Dios*. Suplemento Artes y Letras. Diario El Mercurio, Santiago de Chile.
- QUINTANILLA, M. (2005). *Historia de la ciencia y formación docente: una necesidad irreducible*. Revista TED, número especial, mayo. Ediciones de la Universidad Pedagógica Nacional de Bogotá, Colombia.
- QUINTANILLA, M. (2006). *Historia de la ciencia, ciudadanía y valores: claves de una orientación realista pragmática de la educación científica*. Revista Educación y Pedagogía. U. de Antioquia, Medellín, Colombia. Volumen 18, N° 45, 9–24 (en prensa).
- QUINTANILLA, M.; IZQUIERDO, M. & ADÚRIZ-BRAVO, A. (2005). *Characteristics and methodological discussion about a theoretical model that introduces the history of science at an early stage of the experimental science teacher's professional formation*. Proceedings of IHPST international conference of history and philosophy of science and science teaching. University of Leeds, England.
- QUINTANILLA, M. (2007). *Nicolás Copérnico desde una propuesta realista pragmática de la historia de la ciencia*. En *Historia de la ciencia. Propuestas para su divulgación y enseñanza. Vol. II* (pp. 47–67). Santiago de Chile: Arrayán Editores.

Capítulo 16

Naturaleza de las Ciencias en la enseñanza de la física. Algunas consideraciones relevantes y ejemplos en el aula.

Yadrán Gómez-Martínez.

Universidad de São Paulo

Brasil

Anna Maria Pessoa de Carvalho.

Universidad de São Paulo

Brasil

Lúcia Helena Sasseron.

Universidad de São Paulo

Brasil

Índice

1. Introducción
 2. Una delimitación y contextualización necesaria antes de continuar.
 3. Estado del arte de la naturaleza de las ciencias, en la educación científica.
 4. *¿Cuáles son los potenciales beneficios de la incorporación de la naturaleza de las ciencias, en la enseñanza de la física?*
 5. *¿Qué consideraciones tener al introducir o implementar los aspectos de naturaleza de las ciencias en el aula?*
 6. Historia de las ciencias, a partir de textos. Algunas consideraciones.
 7. De la teoría a la práctica. Algunos ejemplos de la historia de las ciencias, en las aulas de física.
 8. Algunas consideraciones finales y desafíos.
- Lista de referencias bibliográficas*

1. Introducción

Situándonos en el escenario mundial actual, sin dudas, se vivencia –como humanidad- una paradójica y crítica realidad, ya que, aun cuando se ha “evolucionado” en el tiempo en múltiples aspectos y planos de acción, por una parte, todavía existen resistencias (naturales del ser humano) a la aceptación y/o tolerancia de una sociedad caracterizada por la diversidad y permanentes transformaciones, y por otra, la educación formal (o más bien quienes la configuran en algún lugar del mundo), se ha encargado de instalar la cultura de la segmentación y desarticulación, lo que ha imposibilitado la formación de sujetos que, por una parte, tengan una visión holística o sistémica, y por otra, que valoren las potencialidades del trabajo colectivo.

En este sentido, no es de extrañarse que, por herencia socio-cultural, hoy enfrentemos (de alguna manera e independiente del lugar del planeta en que estemos) un dubitativo y desafiante escenario en nuestra sociedad, en donde, muchas veces, se acepten de manera pasiva y acrítica, los diversos efectos o consecuencias, que trae consigo un mundo globalizado, acelerado, incierto, y vulnerable (favorable o desfavorablemente) a permanentes mudanzas (Gómez-Martínez, Pinto y Salazar, 2014). Lo anteriormente planteado, trasciende e impacta (directa o indirectamente), en los diversos aspectos socio-culturales, políticos, económicos, tecno-científicos y ambientales de cada país. Desde este punto de vista, es una necesidad imperante que, las actuales y venideras generaciones de niños y jóvenes, tengan las competencias “apropiadas” para enfrentar propositivamente – en la medida de lo posible - las diversas problemáticas de su vida y entorno, y desde aquí, encarar la realidad de una manera progresiva y socialmente justa (Hyslop-Margison y Thayer, 2009).

En este escenario, y considerando nuestra área de estudio, algunos podrían pensar y/o dudar qué y cómo se relacionan el contexto descrito, con las ciencias, la física y la enseñanza de estas. Si surgiera esta interrogante, entonces estaríamos frente a una evidencia concreta de que, nuestros pensamientos y convicciones (por múltiples factores que no serán discutidos en el presente capítulo), son relativamente “desarticulados” y a “micro-escala”, lo cual, no se alude desde una mirada peyorativa, sino más bien, como un reto valórico e intelectual para aprender, y configurar el futuro desde otra perspectiva. La crisis de las crisis, en cualquier aspecto de la vida, es no reconocerla como una oportunidad de aprendizaje y transformación.

Lo planteado en los primeros párrafos, siempre estuvo, está, y estará relacionado con las ciencias y su enseñanza, ya que estas nunca han sido construidas y configuradas en espacios socio-culturales, políticos, económicos que sean neutrales (Matthews, 1994; Acevedo *et al*, 2005; Izquierdo, 2006; Quintanilla, 2006; Acevedo, 2008; Carvalho y Sasseron, 2010; García-Carmona, Vázquez y Manassero, 2011; Gómez-Martínez, Quintanilla, Farfán, Couso e Izquierdo, 2011; Gómez-Martínez y Quintanilla, 2012; Sasseron, Briccia y Carvalho, 2013; Gómez-Martínez *et al*, 2014), al contrario, muchas veces, la producción y transferencia de conocimiento científico, han sido desarrolladas transculturalmente, y condicionadas por la coexistencia y simultaneidad de múltiples creencias, conflictos de poder, resabios mitológicos, influencias religiosas, crisis políticas y disputas valóricas (Gómez-Martínez *et al*, 2011).

Por lo tanto, desde el área en que trabajamos, cabe preguntarse; ¿Cómo se puede transmitir el sentido humano y social de las ciencias y la física, a través de la enseñanza? ¿Qué física enseñar para educar en valores, ciudadanía, y democracia? ¿Qué y cómo planificar una física educativa que permita a los estudiantes tomar decisiones a lo largo de su vida? ¿Cómo se podría promover un pensamiento sistémico desde y durante los procesos formales de educación? ¿Cómo podría contribuir la enseñanza de la física en la formación de sujetos que favorezcan la sostenibilidad y sustentabilidad del planeta?

Desde la investigación, claramente no podemos dar respuesta (efectiva) en su totalidad a todas estas preguntas, pero sí promover espacios y condiciones para su desarrollo. En este escenario, múltiples investigaciones didácticas en el área, señalan que, una de las formas para contrarrestar el Estado del Arte socio-cultural problematizado, es educar a ciudadanos integrales, reflexivos, críticos, estratégicos, activos, consecuentes, responsables, a través de la inclusión intencionada de las directrices teóricas y metodológicas de la Naturaleza de las Ciencias (en especial la Historia y Filosofía de las Ciencias) en los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias en general (Matthews, 1994; McComas, Almazroa y Clough, 1998; Izquierdo, 2006; Quintanilla, 2007; Adúriz-Bravo, 2005; Acevedo, 2008), y de la física en particular (Koponen y Mäntylä, 2006; Metz, Klassen, McMillan, Clough y Olson, 2007; Forato, Martins, y Pietrocola, 2008; Carvalho, 2011; Gómez-Martínez, Quintanilla, y Farfán, 2012)

De esta manera, el presente capítulo de libro, pretende, por una parte, proporcionar las bases teóricas e ideológicas de qué es y por qué es importante la inclusión de la Naturaleza de las Ciencias en las aulas de ciencias y física, y por otra, ofrecer orientaciones sobre las consideraciones relevantes para su implementación en el aula, a partir de algunos ejemplos ya generados e implementados por integrantes de nuestro Laboratorio de Investigación y Enseñanza de la Física-LaPEF de la Universidad de São Paulo. Así, se contribuirá desde la evidencia, en la auto-formación continua del profesorado de física, dotándolo de un respaldo teórico-metodológico, para asumir algunas decisiones de innovación e intervención en su práctica docente.

Finalmente, es importante destacar que, para que los lineamientos y planteamientos considerados en el presente tengan un impacto socio-pedagógico y didáctico, necesariamente, los profesores de física, aun cuando estén condicionados por un conjunto de obstáculos institucionales y sociales, deben predisponerse a una nueva cultura docente, reconociendo, por un lado, que no existen las “recetas didácticas”, y por otro, asuman –desde su perfil e identidad profesional- su rol como agente social de transformación, reconociéndose así, no sólo un actor de los procesos que vivencia, sino como un autor de los mismos.

2. Una delimitación y contextualización necesaria antes de continuar.

Uno de los elementos más relevantes y significativos en este capítulo, es el abordaje de una meta-ciencia por excelencia; la Naturaleza de las Ciencias (conocida mundialmente como Nature of Science, NOS), la cual, se enmarca dentro de las líneas de investigación de la Didáctica de las Ciencias Experimentales (Gómez-Martínez *et al*, 2011; Amador-Rodríguez y Adúriz-Bravo, 2014), y como uno de los componentes esenciales de la Alfabetización Científica (Hodson, 1994; Sasseron, 2008; Acevedo, 2008), contribuyendo desde aquí (entre otros), en los procesos de Enseñanza de la Física, entiendo esta última como área de reflexión, investigación e innovación teórica-metodológica que, en todos los niveles de enseñanza, y contextos económicos, políticos y socio-culturales en la que se desenvuelve, procura mejorar la calidad de los

procesos de enseñanza-aprendizaje de la física, a partir del conjunto de evidencias aportadas por los estudios de las sub-áreas que la integran.

Es importante dejar en claro que, la concepción de NOS que se adoptará de aquí en adelante, es fundamentalmente la de Adúriz-Bravo (2005), quien se refiere a la Naturaleza de las Ciencias, como un conjunto de contenidos meta-científicos transpuestos, que se seleccionan por su valor para la educación científica de la ciudadanía. Así mismo, cabe destacar que, la Naturaleza de las Ciencias, se reconoce como un conjunto articulado de saberes entre la Epistemología (o Filosofía) de las Ciencias, la cual procura explicar qué problemas dieron origen a un conocimiento y cómo se generó este, la Historia de las Ciencias, la que nos ayudaría a comprender cómo ese conocimiento científico evoluciona en el tiempo y, finalmente, la Sociología de las Ciencias, que permitiría reconocer el rol e influencia de los contextos socio-culturales, políticos y económicos, en la generación y transferencia del conocimiento. Una ilustración de lo mencionado, se visualiza en el siguiente mapa conceptual.

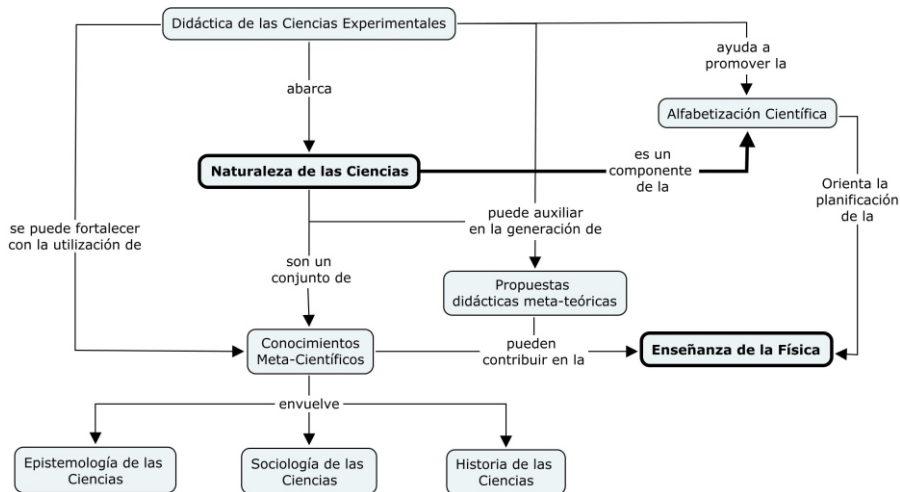


Fig. 1 Mapa Conceptual sobre Naturaleza de las Ciencias en la Enseñanza de la Física

En complemento a lo anterior, es importante resaltar también, que concebimos a la ciencia como una actividad profundamente humana, es decir, flexible, cambiante, incierta, y que puede ser influenciada por los contextos políticos, religiosos, culturales y económicos (Barona, 1994; Lombardi, 1997; Uribe y Quintanilla, 2005; Tamayo y Orrego, 2005; Izquierdo, 2006; Acevedo, 2008; Gómez-Martínez *et al*, 2011).

En esta misma línea, Solbes y Traver (2001) mencionan que, los aspectos del quehacer científico pueden pertenecer a dos esferas distintas que se conectan: las internas y las externas. Los aspectos internos de las actividades científicas estarían ligados a los problemas en estudio, el papel de lo inesperado, la importancia de los

experimentos (mentales y/o manipulativos), el formalismo matemático, y la evolución de las ciencias. En cambio, los aspectos externos del quehacer científico, englobarían un carácter colectivo en la construcción de conocimiento, y las implicaciones sociales de las ciencias.

Por lo tanto, asumiendo esta concepción naturalizada de la ciencia, entendemos que, enseñar ciencias, es mucho más que enseñar contenidos y presentar temas de las ciencias. Si es asumida como una disciplina que aborda una manera de entender el universo, sea en esferas globales o locales, la enseñanza de las ciencias, debe atender también, los aspectos para el desarrollo de formas de comprender el mundo que habitan, y los modos de construir conocimientos en las ciencias. De ahí deriva que, la enseñanza de los procesos de construcción de conocimiento, sean un objetivo a ser puesto en práctica en nuestras aulas. No obstante, no se trata de ofrecer aulas en las que el tema sea la investigación científica, pero sí que la misma sea el abordaje, por medio de la cual los contenidos científicos son trabajados.

En coherencia a lo anterior, resulta interesante lo explicitado por Carvalho y Gil-Pérez (2006), quienes indican que, un profesor, no solamente debe saber del contenido que está siendo enseñado, sino que además, deber saber sobre este, o sea, sobre los problemas que originan el conocimiento científico, cuáles fueron las dificultades y obstáculos epistemológicos, conocer las interacciones Ciencia-Tecnología-Sociedad asociadas a esa construcción, y tener conocimiento de los desarrollos recientes y sus perspectivas, para poder transmitir una visión dinámica y humana de la ciencia. Estos autores, sin duda, hacen alusión a que los profesores deberían apropiarse e incorporar elementos de la Naturaleza de las Ciencias en su reflexión y práctica docente.

Siguiendo el hilo conductor de lo planteado recientemente, no es de sorprenderse que, la preocupación de la incorporación de NOS en la educación en ciencias, trascienda más allá de los círculos investigativos más elementales. Por ejemplo, en los últimos años, los componentes de NOS, se han incorporado en evaluaciones internacionales de Alfabetización y Competencia Científica, como es el caso de PISA (OECD, 2006; Acevedo, 2008), lo cual ha conllevado a que hayan continuas modificaciones y/o adaptaciones en los currículos en ciencias.

Por otra parte y para finalizar, cabe esclarecer y destacar que, aun cuando se ha hecho referencia a los aportes de la utilización de los lineamientos teóricos y metodológicos de NOS en el presente, sólo abordaremos ejemplos de uno de sus componentes; la Historia de la Ciencia, cuyas directrices y potencialidades, han sido consideradas en la elaboración de diversos materiales didácticos en los últimos 15 años, en el en la Universidad de São Paulo, Brasil. De esta manera, los ejemplos que se mencionarán más adelante, están directamente ligados a algunas de estas producciones e implementaciones didácticas que ya fueron materializadas.

1. Estado del arte de la naturaleza de las ciencias, en la educación científica.

Teniendo en cuenta de que ya hemos definido la noción de ciencia que se asume, y se ha contextualizado a la Naturaleza de las Ciencias y sus respectivos componentes, se hace necesario también, establecer y socializar cuál es el estado actual de ésta área en la educación científica. En este sentido, a continuación, se realizará un breve abordaje, a partir de las evidencias de algunas pesquisas en el área.

En primer lugar, y según se mencionó en el apartado anterior, hoy, los “nuevos currículos de ciencias”, en diversos países, ya incluyen las componentes meta-teóricas de la ciencia. A pesar de esto, Lederman (2006), apunta a que una cosa es introducir NOS en los currículos, pero otra es que, los elementos de NOS, sean abordados con calidad y efectividad.

Con respecto a este punto, y en consideración a que los principales actores educativos quienes “materializan” los currículos en el aula son profesores de ciencias y/o física, es preocupante el hecho de que, aun cuando han aumentado el número de investigaciones sobre los aportes de NOS en la educación científica, existe una desarticulación y/o desfase entre la teoría, la formación (inicial o continua) docente, y la incorporación efectiva de este meta-conocimiento en la práctica educativa. De esta manera, no es novedoso lo planteado por Gómez-Martínez *et al* (2011), quien expone lo siguiente:

El profesorado de física, en general, por su formación y escaso (o nulo) perfeccionamiento en el área de Didáctica de las Ciencias y/o Naturaleza de las Ciencias, tiene una imagen “desnaturalizada” de la ciencia, es decir, una visión simplista e ingenua de la disciplina y su enseñanza, lo cual, conlleva a que su pensar y actuar docente, se desarrolle desde una mirada positivista e instrumental.

Así mismo, y en coherencia con lo planteado anteriormente, cabe señalar que, a lo largo de los años, diversos los investigadores que han intentado identificar las concepciones existentes acerca del trabajo científico. El análisis de estos estudios generados y aludidos, permiten la evaluación sobre cómo estas ideas se relacionan o fundamentan en concepciones que se tiene sobre la Naturaleza de las Ciencias (Metz *et al*, 2007; Solbes y Traver, 2001).

De modo general, los estudios que tienen este foco, apuntan a que, las visiones distorsionadas sobre el trabajo de las ciencias se respaldan, o se originan, en las prácticas descontextualizadas existentes en la sala de aula. Por ejemplo, Gil-Pérez *et al* (2001), destaca las siguientes visiones:

1. Una concepción empírico-inductivista de la ciencia, que refuerza una supuesta neutralidad de la observación y de la experimentación, como también, que deja de considerar el papel de las hipótesis, y del uso del cuerpo de conocimientos ya existentes para el análisis de nuevas situaciones;

2. Una visión rígida, algorítmica e infalible de la ciencia, sobre la cual, un “Método Científico”, sustentaría toda y cualquier investigación, siendo esta constituida de pasos y etapas que podrían ser mecánicamente seguidas;
3. Una visión “aprobblemática” de la ciencia que, al mismo tiempo, muestra la idea de una ciencia “ahistórica”;
4. Una concepción de la ciencia como exclusivamente analítica, y enfocada a resolver pequeños problemas que integran y simplifican el todo. Tal visión, limita la percepción que se puede construir acerca de las relaciones entre los conocimientos;
5. Una visión acumulativa y de crecimiento linear, dejando de considerar las crisis por las cuales pasan las ciencias, y las remodelaciones venideras de ellas;
6. Una visión individualista y elitista de la ciencia, creyendo que su trabajo, se da a partir de la mente iluminada de una única persona que, generalmente, es integrante de clases sociales altas, la cual, sólo se ocupa de los quehaceres de la investigación;
7. Una concepción de la ciencia como socialmente neutra, olvidándose de las complejas y extensas relaciones entre las ciencias y la sociedad.

En este contexto, no cabe duda alguna que, es una imperante necesidad que, la evidencia sistematizada de las investigaciones, tengan repercusión positiva en las políticas educativas e institucionales, de lo contrario; ¿de qué sirve producir y transferir conocimiento en enseñanza de las ciencias, si este no genera una “tensión didáctica” que permita mejorar o dar respuesta a una situación problemática?

Desde este punto de vista, no debemos responsabilizar del todo a los profesores de física (en formación o en ejercicio), ya que, muchos de ellos, aun cuando están conscientes de sus limitaciones (o falencias) y tienen la intención de mejorar, deben enfrentar múltiples obstáculos institucionales y socio-culturales que, al final, coartan sus decisiones y oportunidades profesionales e intelectuales, otorgándole así (directa o indirectamente), un rol meramente técnico. Siguiendo este hilo conductor, no basta solamente que el profesorado de ciencias y física se actualice, y alcance “proficiencias didácticas” por su cuenta, sino que también, sean las instituciones de secundaria y universitaria quienes asuman su rol, y adopten como política, la incorporación de elementos teóricos-metodológicos necesarios en educación en ciencias, como es el caso de la Naturaleza de las Ciencias.

2. ¿Cuáles son los potenciales beneficios de la incorporación de la naturaleza de las ciencias, en la enseñanza de la física?

Para algunos investigadores y profesores de física, la respuesta a esta pregunta, se ha vuelto un tanto evidente en los últimos años, mientras que para otros, en un marco de desconocimiento, la respuesta es ingenua o una absoluta interrogante.

A partir de este contexto, en los siguientes párrafos, se aludirá la potencial contribución de NOS, en diferentes niveles y planos de acción.

En primer lugar, y según Cuellar (2010), la utilización de elementos de NOS en la enseñanza, como es el caso de la Historia de la Ciencia, permite identificar, seleccionar y organizar información, favoreciendo así, la generación de secuencias coherentes, que den cuenta de la mayoría de los elementos o factores inmersos en el proceso en donde construye el conocimiento científico. De esta manera, NOS, no solamente permite contextualizar y profundizar sobre y acerca la física en el proceso de enseñanza, sino que también, ser un hilo conductor de un conjunto de actividades.

Desde el plano de la enseñanza-aprendizaje de la física y las ciencias, cabe destacar que la utilización de NOS, estimula favorablemente en las predisposiciones de los estudiantes hacia la ciencias y/o física (Solbes y Traver, 1996; Cuellar, 2010; Gómez-Martínez y Quintanilla, 2012), ya que, al percibir el significado, y desarrollo humano y social de las actividades científicas, tienden a sentir que ésta es mucho más próxima a ellos, es para todos y todas, y que el error (un miedo constante en ellos), comienza a ser valorado como un elemento natural en el proceso de construcción del conocimiento.

En este sentido, la evidencia explicitada es destacable, principalmente, por lo siguiente; 1) una predisposición favorable hacia la física y enseñanza de esta, puede conllevar a que el alumno se sienta más comprometido con su aprendizaje, lo cual, es un elemento clave en el proceso de aprendizaje significativo (Sánchez, Gómez-Martínez y Villalobos, 2014), 2) actitudes favorables hacia la física, es una variable que favorece la promoción y desarrollo de Competencias de Pensamiento Científico en los estudiante (Gómez-Martínez y Quintanilla, 2012), y 3) una mejor predisposición hacia la física, lo más probable, es que mejore la motivación general en la aula de física, lo cual, ya es un gran avance pensando en que durante años, la física no ha sido la disciplina de mayor agrado para los jóvenes adolescentes.

Continuando con los beneficios en la sala de aula, es importante resaltar que, con la utilización de la Naturaleza de las Ciencias, se puede enseñar a los estudiantes qué, cómo y para qué pensar responsable, crítica, estratégica e integralmente, a partir del estudio global y meditabundo de lo que siempre ha estado y estará articulado (o influenciado); construcción de conocimiento en ciencias y/o física, con la historia, filosofía, política, ideales y convicciones, controversias valóricas y de poder, resabios mitológicos, creencias populares, religión, arte, tecnología, economía, cultura(s), interrogantes sobre el universo, etc.

Siguiendo con este razonamiento, no cabe duda alguna que, esta potencial contribución de NOS en la aula de física y/o ciencias (quizás para nosotros la más importante), promueve una plataforma de reflexión, discusión y análisis de carácter sistémico, cuya visión holística y multifactorial, es una imperante necesidad en las actuales y venideras generaciones de niños y jóvenes.

Para finalizar, cabe señalar también que, no solamente son los estudiantes quienes se benefician con el uso de NOS, sino que también, los profesores de física. Como mencionamos en apartados anteriores, muchos profesores, aún tienen una mirada ingenua sobre las ciencias y/o física y cómo ésta se relaciona con los múltiples aspectos de nuestras diversas culturas. Así, los profesores al incorporar poco a poco estos elementos meta-teóricos en sus prácticas docentes, aunque inicialmente sea a base de ensayo y error, naturalmente irán desarrollando y mejorando la calidad de su auto-formación en el área, y desde aquí, adquiriendo una actitud, pensamiento, y perfil integral o sistémico de educación y sociedad.

3. ¿Qué consideraciones tener al introducir o implementar los aspectos de naturaleza de las ciencias en el aula?

Hasta el momento, solamente hemos enfatizado en el “qué y por qué” incorporar elementos meta-teóricos en las aulas de física y ciencias.

En función a esto, hemos llegado a un momento clave y a la vez crítico, ya que, desde aquí, se hace referencia a la “gran pregunta” que muchos profesores se hacen al leer un material como el presente: ¿cómo introducir e implementar actividades que envuelvan los aspectos meta-científicos en el aula de ciencias? (Clough y Olson, 2008).

En este sentido, aunque se pueda esperar con gran expectativa el “cómo”, la respuesta a esta interrogante, no es nueva, ya que, en términos de formas, se pueden utilizar materiales, medios y estrategias que han sido utilizados durante los últimos 15 años para diversas disciplinas; debates, reportajes, películas, montajes teatrales, cartas o episodios históricos, periódicos, libros, videojuegos, etc.

Teniendo en cuenta este punto de vista, cabe preguntarse; ¿qué aspectos o factores se deben tener en cuenta a la hora de planificar e implementar actividades de aula que incluya componentes de NOS?

En primer lugar, y como en algún momento se mencionó, es tener presente que no existen las “recetas didácticas” que sean exitosas en toda cultura y en todo contexto. Así mismo, no existe una única línea de investigación que Enseñanza de la Física y/o Ciencias que pueda dar respuesta a las diversas problemáticas que hoy se enfrenta. De esta manera, más que considerar a NOS como el abordaje didáctico más correcto, se debe reconocer como una de las maneras de promover valores, actitudes y competencias necesarias para vivir y convivir en una sociedad más justa, libre y humanitaria.

En coherencia a lo anterior, un segundo aspecto a considerar, está relacionado con la evolución de imagen y predisposiciones hacia la ciencia que puedan tener los estudiantes, puesto que, aun cuando se puedan idear, producir e implementar actividades asociadas a Historia, Filosofía y/o Sociología de las Ciencias, no se puede

garantizar un cambio radical en las concepciones y competencias, sino más bien, un cambio progresivo de las mismas. Se debe recordar que, hay una herencia instalada (en profesores y estudiantes) que precisa ser transformada a través del tiempo, por lo que, mientras antes se integren los componentes de NOS en la cultura escolar, antes también se contribuirá en este proceso de mudanza.

Un tercer factor relevante, está asociado con la idiosincrasia y formación del profesorado, ya que, para abordar los componentes de NOS – idealmente- el docente además de tener “adecuadas” competencias disciplinares, pedagógicas y didácticas, debe ser capaz de reconocer las fortalezas y limitaciones de su propia alfabetización científica-cultural, y en lo posible, tener una visión sistémica de sociedad.

Para finalizar y siguiendo el hilo conductor de los párrafos anteriores, el cuarto aspecto relevante de destacar, está estrechamente relacionado con los posibles abordajes distorsionados, ingenuos o anacrónicos, como algunas veces han ocurrido en libros didácticos (Pietrocola-Oliveira, 2003), y que podrían ocurrir en el aula. Desde esta perspectiva, por ejemplo, si se va a utilizar un texto o episodio histórico (propio, adaptado, o sin alteraciones), para contextualizar y/o problematizar una actividad (o un conjunto de estas), por lo menos, se deberían visar algunos aspectos fundamentales como, por ejemplo, los explicitados a continuación:

1. Cuestionar y averiguar, en más de un referencial, sobre cada “historia” encontrada que se pretende desarrollar en aula, ya que, por el hecho de ser escrita por personas, ya tiene un cierto grado de subjetividad, que por cierto, es propio de toda actividad humana (Forato, Pietrocola y Martins, 2011).
2. Al abordar alguna noción científica, se deben considerar las problemáticas, controversias cognitivas y preguntas claves que dieron origen a este conocimiento (Carvalho y Gil-Pérez, 2006). Así mismo, y en lo posible, mencionar los actuales impactos y limitaciones de este, desde diversos planos de acción; ciencia, educación en ciencias, tecnología, sociedad, y medio ambiente.
3. Utilizar y proyectar la imagen de un científico como realmente es, o sea, como una persona y no un personaje. En este sentido, es importante la reiteración en aula de que, un científico, al igual que toda persona, puede tener esposa, hijos, amigos, valores, ideologías, convicciones, religión, tendencia política, errores, éxitos, fracasos, etc. Así mismo, es importante apropiarse y trascender la idea de que, la ciencia, la hacen tanto hombres como las mujeres (Solsona, 2007).
4. No adoptar una visión e historia anacrónica y decorativa del pasado (Quintanilla, 2006), es decir, aquella que no se corresponde con la época a la que se hace referencia, ya que potencializa imágenes y representaciones distorsionadas de la actividad científica (Gómez-Martínez *et al*, 2012).
5. Evitar el simple uso de datos históricos o de carácter anecdótico como, por ejemplo; “Eureka y Arquímedes”, “Galileo fue un gran científico que matematizó el

movimiento”, “La manzana de Newton”, “Isaac Newton (1643-1727) fue el padre de la física moderna”, “Albert Einstein fue un físico que nació en 1879 y ganó un premio Nobel”, “Nikola Tesla hizo múltiples aportes en la física y murió en 1943”, “en 1992 se descubrió la tele-portación cuántica”, “el bosón de Higgs se descubrió el 2012”, etc. No obstante, si han de utilizarse, es muy importante, situarlos en el contexto socio-cultural, económico y político de la época, y cómo se relaciona con el acontecimiento.

6. Historia de las ciencias, a partir de textos. Algunas consideraciones.

Como se mencionó anteriormente, la Historia de la Ciencia, es uno de los elementos de la Naturaleza de las Ciencias, por lo que su contribución, está estrechamente ligada a los aportes ya comunicados sobre NOS.

En este contexto, a lo largo de los años, en nuestro grupo LaPEF, se han desarrollado actividades que buscan trabajar los aspectos internos y externos del quehacer científico por medio de distintas actividades. Una de estas actividades, ha sido el uso de episodios de la Historia de las Ciencias (HC).

Cabe destacar que, los episodios de HC, no son llevados a la sala de aula aisladamente, sino que se enmarcan dentro de una propuesta didáctica más amplia. Esta propuesta, es una secuencia de enseñanza, en donde en los episodios, son utilizados en la perspectiva de profundizar las discusiones sobre los conceptos planificados y sobre la naturaleza de las ciencias.

Los textos utilizados, son traducciones de textos originales o trechos de obras literarias que retratan, sin prejuicio al hecho, la época y la situación.

Es destacable mencionar que, el momento en que los textos serán presentados a los estudiantes, va a depender de la planificación de la secuencia de enseñanza elaborada por el profesor y/o investigador, por lo cual, no existe un instante preferencial en el que estos deban aparecer, eso sí, estamos convencidos de que estos necesitan estar relacionados con el tema central de la secuencia de enseñanza, y deben auxiliar la discusión sobre el contenido científico, por medio de actividades que colaboran para el abordaje didáctico de aspectos de la investigación científica

7. De la teoría a la práctica. Algunos ejemplos de la historia de las ciencias, en las aulas de física.

A continuación, presentaremos cuatro ejemplos de actividades en que, textos históricos, son colocados en debate a lo largo de una secuencia de enseñanza, la cual, es planificada para ser desarrollada en el aula de física de enseñanza secundaria.

La elección de estos ejemplos, se enmarcan en nuestro objetivo de mostrar las diversas posibilidades existentes para el trabajo escolar científico, en donde se colocan en evidencia los aspectos internos y externos del quehacer científico, en perspectiva de que los estudiantes puedan construir una visión más adecuada sobre la naturaleza de las ciencias.

Cabe destacar que existen diversas publicaciones que hacen referencia a algunos criterios mínimos a considerar, para la producción y/o adaptación de textos históricos como, por ejemplo, los generados por Forato *et al* (2011), y que se pueden encontrar fácilmente en la internet.

Ejemplo 1: el episodio del catalejo de Galileo, y las relaciones ciencia y tecnología.

El primer ejemplo que mencionamos, fue producto de la investigación realizada por Vannucchi (1997), cuyo objetivo general, era evaluar de qué manera la enseñanza de los tópicos de Historia y Filosofía de las Ciencias, podría ser realizada en aula considerando sus contribuciones para el entendimiento de aspectos vinculados al propio quehacer científico.

Desde aquí, Vannucchi (1997) utiliza un texto literario de Stilman Drake (1983) sobre el trabajo de Galileo en sus observaciones celestes, y propuestas sobre la existencia de las lunas de Júpiter. El diálogo propuesto por Drake, en su obra “Telescope, TidesandTatics”, ocurre entre contemporáneos imaginarios de Galileo Galilei.

El texto, además de posibilitar el debate acerca de la importancia de las observaciones de las lunas como una garantía para que la idea del heliocentrismo pudiese ganar “fuerza”, la lectura y su discusión, busca destacar las relaciones entre la ciencia y la tecnología. De esta manera, el texto hace mención al catalejo en los primeros años del siglo XVII, periodo en que Galileo realiza sus observaciones, como un artefacto direccionado a finalidades comerciales y navales. Es destacable señalar que, el texto utilizado, también hace referencia al hecho de que, el entendimiento científico del funcionamiento del catalejo, se consiguió apenas 70 años después del año 1609, fecha en la cual, Galileo escribe el libro “El mensajero de las estrellas”, un diario preciso e ilustrado sobre sus observaciones celestes. De este modo, tenemos una actividad que permite discusiones que exploren las relaciones existentes entre tecnología y la ciencia.

Lo interesante de este episodio en específico, es que el no aborda el desarrollo científico y tecnológico para una misma área de conocimiento, sino que explora cómo el desarrollo científico de una esfera, puede contribuir - aunque sea por casualidad - para el desarrollo tecnológico de otra.

De esta manera, se coloca en evidencia que, el desarrollo tecnológico no siempre viene después del desarrollo científico. Así se destaca que, los acontecimientos en un área, además de promover (directa o indirectamente) nuevos estudios en diferentes áreas, también pueden permitir la discusión de que no hay un único camino para el desarrollo y el uso de las ideas, ya sean prácticos o teóricos.

A partir del uso de tal propuesta, las relaciones ciencia y tecnología, se tornan centrales en el debate en la sala de aula. Así mismo, consideramos que, el profesor, tiene la posibilidad de trabajar con los alumnos cuestiones que permiten abordar los aspectos internos (AI-QC) y externos del quehacer científico (AE-QC). En coherencia a lo expuesto, no es de extrañar que, desde los AI-QC, se haga un abordaje a la evolución de los conocimientos y la importancia de los experimentos, mientras que, desde los AE-QC, se estudien las implicaciones sociales de las ciencias, ya sea por el desarrollo de nuevos conocimientos y tecnologías, o por la forma de cómo estos conocimientos, impactan la visión y la explicación aceptada por la sociedad acerca del fenómenos en análisis.

Ejemplo 2: G. P. Thomson, J. J. Thomson, y las diferentes formas de observarse un fenómeno.

El segundo ejemplo que aquí presentamos, se hace parte de una secuencia de enseñanza investigativa que fue desarrollada en el trabajo de Lopes (2013). El objetivo de este trabajo, era ofrecer al profesor un material, por medio del cual, un tema de Física Moderna, pudiese ser llevado para la sala de aula, a partir de un abordaje didáctico investigativo.

Esta secuencia de enseñanza, contiene actividades experimentales, discusiones entre alumnos y profesores, y lectura de textos históricos. Así, en el marco de actividades con abordaje histórico, se utilizaron textos de los artículos originales escrito por JJ Thomson y GP Thomson. Desde aquí, y analizando los estudios acerca de la naturaleza del electrón, Lopes (2013), tradujo el contenido y transformó la estructura, para que el texto a ser entregado a los estudiantes fuera lo más próximo a una entrevista, y pudiera facilitar la comprensión de los alumnos de enseñanza media.

Es muy interesante cómo se generó el conocimiento científico aludido, ya que, JJ y GP Thomson, padre e hijo respectivamente, estudiaron – en momentos diferentes y con materiales experimentales ligeramente distintos – el mismo problema: el comportamiento del electrón.

Los datos obtenidos (independientemente) por uno cada uno de ellos, nos llevan a proponer distinta naturaleza para el electrón; mientras JJ Thomson creía que el electrón podía ser una partícula, GP Thomson, propone que la naturaleza del electrón es ondulatoria.

El uso de tales textos, permite que los estudiantes sean enfrentados a conflictos cognitivos que, de alguna manera, permite analizar de diferentes puntos de vista, un mismo problema. En este sentido, es posible poner en discusión el papel de los aparatos experimentales para la investigación científica; ya sea la importancia de la consideración de conocimientos anteriores para el desarrollo lineal de la idea, o para la proposición de una nueva forma de concebir el fenómeno.

Al trabajar con el “conflicto de interpretaciones”, el uso de los textos de JJ Thomson y GP Thomson, otorga condiciones para destacar que, un mismo problema, puede desembocar en distintos fenómenos, debido a la relación construida entre el investigador y los instrumentos con los cuales los estudios son realizados. Por lo tanto, entendemos que, la importancia de los experimentos, la evolución del conocimiento, y los aspectos internos del quehacer científico, pueden estar en desarrollo en una clase que use esta práctica. Al mismo tiempo, los AE-QC, son traídos a tono por la dimensión colectiva del trabajo de investigación.

Ejemplo 3: Rumford y el dilema del quiebre de paradigma.

Este tercer ejemplo que abordamos, emerge de la investigación de Briccia (2004), cuyo objetivo principal, fue discutir las visiones de ciencia existente en estudiantes, a quienes se les presentó una secuencia de enseñanza por investigación, abordando el tema de Calor y Temperatura.

A lo largo de las actividades experimentales de problemas abiertos y discusiones con los colegas y con el profesor, los estudiantes, también tenían contacto con los textos de episodios históricos.

En este sentido, el texto que aquí se discute, es un relato original de Rumford, el cual, fue traducido al portugués con el objetivo de uso en sala de aula. En el relato, Rumford, describe su experiencia con la perforación de metales, para la confección de cañones de artillería. Siguiendo la trayectoria temporal del texto, se puede evidenciar lo ocurrido con Rumford, en relación a las dudas relacionadas con la naturaleza del calor.

Para contextualizar; en el siglo XVIII, en la época en que fue generado el relato, la mayoría entendía que, el calor, era una sustancia constituyente de cada material y ser. Por eso, Rumford, a lo largo de su texto, expone la actividad y las observaciones que surgen en su estudio, dejando en claro sus datos y sus hipótesis que, sin duda, ponen en “jaque” la idea de calor como sustancia.

Las dudas surgidas por Rumford, son expuestas en todo momento, y son estas las que consolidan y proporcionan el establecimiento de nuevas hipótesis generadas, las que son testeadas y evaluadas. Por lo tanto, tenemos un relato enriquecido de todo su trabajo, el cual, fue realizado a partir de las observaciones, y de las nuevas ideas construidas a partir de los datos.

Finalmente, cabe señalar que, al trabajar con este texto en la sala de aula, encontramos una posibilidad, para que los AI-QC, sean destacados y, fundamentalmente, se otorgue relevancia a la “casualidad” en el proceso de construcción de un problema y del conocimiento, como también, valoración al papel e importancia de los experimentos.

Ejemplo 4: Fahrenheit, y las sombras emocionales y sociales de la construcción de conocimiento.

El cuarto y último ejemplo que señalaremos, fue elaborado en el trabajo de Castro (1993), en donde el objetivo se centró en estudiar de qué modo la construcción de conocimiento científico podría ser debatida en la sala de aula.

De este modo, los contenidos en cuestión eran, al mismo tiempo, objeto de estudio para el conocer del entendimiento por parte de los científicos, y para el conocimiento de los recorridos por los cuales transcurrió su construcción en su contexto histórico.

El episodio aquí descrito, fue extraído del artículo escrito por Fahrenheit relatando su empeño, y sus acciones para el desarrollo de un termómetro, cuya escala, era marcada a partir del uso de una columna de mercurio.

Lo que llama la atención del texto y del trecho escogido, son los aspectos emocionales que se explicitan en el relato de Fahrenheit. Así, su desconocimiento sobre las técnicas para la construcción del aparato, son relatadas como el modo que lo llevó a considerar el mercurio como un material adecuado, para la finalidad de definición y parametrización de una escala en el termómetro.

Su texto, está cargado de palabras y expresiones como, por ejemplo, observación, deseo, expectativa, y placer. De esta forma, actitudes de encantamiento, de desconfianza y de espanto que son declaradas en el texto, van promoviendo una aproximación del alumno al científico, permitiendo así, que el trabajo científico, sea percibido en sus dimensiones personales, contribuyendo en la ruptura de una visión de científico como un ser humano de capacidades intelectuales infinitamente mayores de aquellas que existen entre las personas comunes.

Esta perspectiva, posibilita la comprensión de los aspectos internos y externos del quehacer científico, las que se relacionan con la figura del científico como un ciudadano ligado a una cultura y a la sociedad, que a la vez, está inmersa en aspectos históricos de aquel contexto.

8. Algunas consideraciones finales y desafíos.

Hasta el momento, a partir de diversas evidencias sistematizadas desde la investigación (teórica y/o aplicada), hemos dado énfasis a varias de las potenciales contribuciones que tiene la inclusión de los elementos de NOS en la enseñanza de la física y las ciencias, en particular el caso de la Historia de la Ciencia.

De esta manera y para finalizar este capítulo de libro, haremos una breve referencia a algunas tensiones y desafíos en la actualidad. Por lo tanto, no quisiéramos dejar de mencionar que, para conseguir las transformaciones que realmente precisamos en los tiempos de hoy, las problemáticas y posibles soluciones, deberían ser leídas y analizadas, desde diferentes niveles y planos de acción, sobre todo en áreas estratégicas como lo son las ciencias (en nuestro caso la física) y su enseñanza.

Desde este posicionamiento y en concordancia a nuestro tema conductor, resulta relevante explicitar que, si bien no pudimos ampliar nuestra discusión (para no escapar del objetivo y facilitar la lectura), es clave ser consecuente con lo mencionado en el párrafo anterior.

Siguiendo con esta lógica, a continuación, nos referiremos a algunos factores que han condicionado (y sin duda lo seguirán haciendo en el presente y futuro), las directrices teóricas y metodológicas de los procesos de producción e implementación didáctica en la sala de aula (nuestro caso la Naturaleza de las Ciencias), por lo que hay que prestarla bastante atención. Algunos de estos factores son la formación de profesores de ciencias y científicos, investigación e investigadores, currículum y sala de clases, y educación informal, de los cuales, se abordarán –brevemente- los dos primeros.

Desde el plano de la formación de profesores y científicos, no nos cabe la menor duda, que es un elemento no menos importante al momento de querer reformar el enfoque desnaturalizado de las ciencias (aun existente y predominante en la sociedad), puesto que, son y serán ellos los responsables- de alguna manera- en la proyección de una imagen científica, que reconozca y valore los aspectos históricos, epistemológicos, y sociológicos en los procesos de producción y transferencia de conocimientos en ciencias. Así, esta premisa, se torna crítica e interesante en la actual formación de los profesionales señalados, ya que, por una parte, implica una reformulación formativa (y en lo posible epistemológica) por parte de las universidades (que no es fácil, pero esperamos que hacia allá se transite en el tiempo) y, por otra parte, también implica –necesariamente- de un proceso de actualización y formación meta-teórica en los actuales formadores de profesores y científicos en las universidades, que permita repensar y consensuar cuestiones mínimas en discursos y acciones en aula, en relación al carácter humano y social de las ciencias.

Así mismo, y no muy diferente de lo anterior, desde el plano de la investigación, también deberían surgir algunas modificaciones e interrogantes en relación a la Naturaleza de las Ciencias como, por ejemplo, ¿qué noción de NOS consensuar en el área de la educación científica, para que no se vuelva un obstáculo pedagógico y didáctico? ¿Cómo contribuir desde la investigación en las políticas educativas e institucionales, para la inclusión explícita de NOS en el aula? ¿Cuál debería ser el perfil de investigador en educación científica que se dedique a cuestiones asociadas con NOS? ¿Cuál debería ser el rol de la investigación, en la planificación, producción y evaluación de recursos didácticos que siga los lineamientos de NOS? Estas son algunas de las interrogantes que existen hoy, y que por supuesto, necesitan ser abordadas.

Con todo lo anterior y como se mencionó en algún momento del presente, cada idea, propuesta u orientación que se pueda generar, va a depender del rol que asuman los profesores en el aula. Un material didáctico en física (u otra disciplina), aun generado por el mejor equipo de expertos en la enseñanza de esta, tendrá un

verdadero valor e impacto en los estudiantes, en la medida en que el docente favorezca las condiciones para una plataforma de reflexión, discusión y análisis prospectivo, en torno a los aspectos de NOS en la ciencia y en la sociedad.

Agradecimientos

Este capítulo, sigue las orientaciones teóricas y metodológicas de Laboratorio de Pesquisa y Enseñanza de la Física⁷⁷ - LaPEF que dirigen las coautoras del presente.

Lista de referencias bibliográficas

- AMADOR-RODRIGUEZ, R., ADÚRIZ-BRAVO, A. (2014). Afirmaciones epistemológicas con "alta carga teórica" que pueden tener incidencia en la didáctica de las ciencias: un estudio comparativo. *Ciência e Educação*, 20(2), 433-447.
- ACEVEDO, J., Y ACEVEDO, P. (2002). Creencias sobre la naturaleza de la ciencia. Un estudio con titulados universitarios en formación inicial para ser profesores de educación secundaria. *Revista Iberoamericana de Educación*, 1-27. Recuperado de <http://www.rieoei.org/deloslectores/244Acevedo.PDF>
- ACEVEDO, J. (2008). El estado actual de la naturaleza de las ciencias en la didáctica de las ciencias. *Revista Eureka de enseñanza y divulgación de las ciencias*, 5(2), 34-69.
- ACEVEDO, J., VÁZQUEZ, A., MARTÍN, M., OLIVA, J., ACEVEDO, P., FÁTIMA, M., Y MANASSERO, M. (2005). Naturaleza de las Ciencias y Educación Científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), 121-140.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. (2005). *Una introducción a la Naturaleza de las Ciencias: la epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- BARONA, J.L. (1994). *Ciencia e Historia. Debates y tendencias en la historiografía de la ciencia*. Valencia: SEC.
- BRICCIA, V. (2004). *Visões de Ciências e Ensino por Investigação (dissertação de mestrado)*. Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, Brasil.
- CARVALHO, A.M.P., Y SASSERON, L. H. (2010). Abordagens histórico-filosóficas em sala de aula: questões e propostas. Em A.M.P de Carvalho (ed.). *Ensino de Física* (pp.107-140). São Paulo: Cengage Learning.
- CARVALHO, A.M.P., Y GIL-PÉREZ, D. (2006). *Formação de professores de ciências. Questões da nossa época*. São Paulo: Cortez Editora.
- CARVALHO, A.M.P. (2011). Visões sobre a Natureza da Ciência construídas a partir do uso de um texto histórico na escola média. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 10, 1-22.

⁷⁷ <http://www.lapef.fe.usp.br/>

- CASTRO, R.S. (1993). *História e epistemologia de ciência: investigando suas contribuições num curso de física de 2do grau* (dissertação de mestrado). Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, Brasil.
- CUELLAR, L. (2010). *La historia de la química en la reflexión sobre la práctica profesional docente. Un estudio de caso desde la Ley Periódica* (Tesis de doctorado). Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- CLOUGH, M., Y OLSON, J. (2008). Teaching and assessing the nature of science: An Introduction. *Science & Education*, 17(2-3), 143-145.
- DRAKE, S. (1983). Telescopes, tides and tatics: a Galilean dialogue about the starrymessenger and systems of the world. Chicago: The University of Chicago Press.
- FORATO, T., MARTINS, R., Y PIETROCOLA, M. (2008). Teorias da luz e natureza da ciência: elaboração e análise de curso aplicado no ensino médio. *XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, Curitiba, Brasil.
- FORATO, T., PIETROCOLA, M., Y MARTINS, R. (2011). Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Cuadernos brasileiros de Enseñanza de la Física*, 28(1), 27-59.
- GARCÍA-CARMONA, A., VÁZQUEZ, A., Y MANASSERO, M. (2011). Estado actual y perspectivas de la naturaleza de la ciencia: una revisión de las creencias y obstáculos del profesorado. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 29(3), 403-412.
- GIL-PÉREZ, D., FERNÁNDEZ, I., CARRASCOSA, J., CACHAPUZ, A., Y PRAIA, J. (2001). Por uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciências e Educação*, 7(2), 125-153.
- GÓMEZ-MARTÍNEZ, Y., QUINTANILLA, M., FARFÁN, P., COUSO, D., E IZQUIERDO, M. (2011). Física Moderna; ¿Qué saben sobre su historia los profesores de física en ejercicio? *X Jornada sobre la Historia de la Ciència i l'Ensenyament*, Barcelona, España.
- GÓMEZ-MARTÍNEZ, Y., QUINTANILLA, M., Y LIRES, M. (2012). La actitud hacia la clase de física del estudiantado de secundaria de Chile. *XXV Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, Santiago de Compostela, España.
- GÓMEZ-MARTÍNEZ, Y., QUINTANILLA, M., Y FARFÁN, P. (2012). Acerca de la Historia de la Física Moderna; ¿Qué saben los profesores de ciencia en ejercicio? *2ª Conferencia Latinoamericana del International History, Philosophy, and Science Teaching Group, IHPST*. Universidad de Mendoza, Mendoza, Argentina.
- GÓMEZ-MARTÍNEZ, Y. Hacia una Sociedad Chilena de Enseñanza de la Física. *I Encuentro Nacional de Didáctica de la Física*, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile.
- GÓMEZ-MARTÍNEZ, Y., PINTO, A., Y SALAZAR, L. (2014). Contribución de la metodología ABP, en el aprendizaje de nociones físicas asociadas a Tierra y Universo. *2d International Congress of Science Education, Parque tecnológico ITAIPU*, Foz do Iguaçu, Brasil.

- HODSON, D. (1994): “Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio”. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 299- 313.
- HYSLOP-MARGISON, E., Y THAYER, J. (2009). *Teaching Democracy: Citizenship Education as Critical Pedagogy*. Rotterdam: Sense Publishers
- IZQUIERDO, M. (2006). Por una enseñanza de las ciencias fundamentada en valores humanos. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11 (30), 867-882.
- KOPONEN, I., & MÄNTYLÄ, T. (2006). Generative role of experiments in physics and in teaching physics: A suggestion for epistemological reconstruction. *Science & Education*, 15(1), 31-54.
- LEDERMAN, G. (2006). Research on nature of science: reflections on the past, anticipations of the future. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*. Recuperado de <http://www.ied.edu.hk/apfslt/>
- LOMBARDI, O. (1997). La pertinencia de la historia en la enseñanza de las ciencias: argumentos y contraargumentos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(3), 343-349.
- LOPES, E. (2013). *O elétron? É onda ou partícula? Uma proposta para promover a ocorrência da Alfabetização Científica de Física Moderna e Contemporânea em estudantes do Ensino Médio* (dissertação de mestrado). Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, Brasil.
- METZ, D., KLASSEN, S., MCMILLAN, B., CLOUGH, M., Y OLSON, J. (2007). Building a Foundation for the Use of Historical Narratives. *Science & Education*, 16(3-5), 313-334.
- MCCOMAS, S.W., ALMAZROA, H., Y CLOUGH, M. (1998). The nature of science in science education: an introduction. *Science & Education*, 7(6), 511-532.
- MATTHEWS, M. (1994). Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 255-277.
- OCDE. (2006). *Evaluación de la Competencia Científica, Lectora y Matemática: Un marco teórico para PISA 2006*. Madrid: INECSE/MEC.
- PIETROCOLA-OLIVEIRA, M. A. (2003). História e a epistemologia no ensino de ciências: dos processos aos modelos de realidade na educação científica. Em A. M. R. Andrade (ed.). *Ciência em Perspectiva. Estudos, Ensaios e Debates* (pp.133-149). Rio de Janeiro: MAST/SBHC.
- QUINTANILLA, M. (2006). Identificación, caracterización y evaluación de competencias científicas desde una imagen naturalizada de las ciencias. En M. Quintanilla y A. Adúriz-Bravo (eds.). *Enseñar Ciencias en el Nuevo Milenio. Retos y propuestas* (pp. 17-42). Santiago: Ediciones Pontificia Universidad Católica de Chile.
- QUINTANILLA, M. (2007). *Historia de la Ciencia. Aportes para la formación del profesorado*. Santiago: Editorial Conocimiento.
- SÁNCHEZ, I., GÓMEZ-MARTÍNEZ, Y., Y VILLALOBOS, C. (2014). Hacia un aprendizaje significativo de la cinemática a partir de una salida a terreno. *Journal of Science Education*, 15(1), 44-48.
- SASSERON, L., BRICCIA, V., Y CARVALHO, A.M.P. (2013). Aspectos da natureza das Ciências em sala de aula: exemplos do uso de textos científicos em prol do processo de Alfabetização Científica dos estudantes. Em C. Celestino y M. Brzezinski (eds.). *Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas* (pp. 265-276). São Carlos: Tipographia.

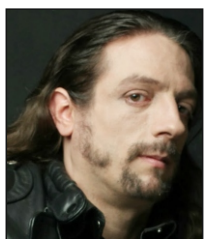
- SASSERON, L. (2008). *Alfabetização Científica no ensino Fundamental – Estrutura e Indicadores deste processo em sala de aula*. (tese de doutorado), Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, Brasil.
- SOLBES, J., Y TRAVER, M. (1996). La utilización de la historia de la ciencia en la enseñanza de la química y física. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 103-112.
- SOLBES, J., Y TRAVER, M. (2001). Resultados obtenidos introduciendo la Historia de la Ciencia em las clases de Física y Química: Mejora de la Imagen de la Ciencia y Desarrollo de Actitudes Positivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), 151-162.
- SOLSONA, N. (2007). Las mujeres em la historia de la ciencia. Em M. Quintanilla (ed.). *Historia de la Ciencia: aportes para la formación del profesorado* (pp. 37-64). Santiago: Editorial Conocimiento.
- TAMAYO, O., Y ORREGO, M. (2005). Aportes de la Naturaleza de las Ciencias y del contenido pedagógica del conocimiento para el campo conceptual de la educación en ciencias. *Revista Educación y Pedagogía*, 17(43), 13-25.
- URIBE, M., Y QUINTANILLA, M. (2005). Enseñar a comprender la ciencia desde una perspectiva histórica: aplicación del modelo de Toulmin a la evolución del concepto de “fisiología cardiaca”. *VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias*, Granada, España.
- VANUCCHI, A. (1997). *História e filosofia da ciência: da teoria para a sala de aula* (dissertação de mestrado). Instituto de Física & Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, Brasil.

AGUSTÍ NIETO-GALAN



Profesor de Historia de la Ciencia en la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Ingeniero químico, licenciado y doctor en Historia, se formó como historiador de la ciencia en la Modern History Faculty de la Universidad de Oxford y en el CNRS en París. Actualmente es investigador ICREA- Academia y director del Centro de Historia de la Ciencia (CEHIC) de la UAB. Entre sus publicaciones destacan: *Natural Dyestuffs and Industrial Culture in Europe , 1750-1880* , editado con Robert Fox (Science History Publications, 1999); *Chemistry, Medicine, and Crime Mateu J.B. Orfila (1787-1853) and His Times* (Science History Publications, 2006), editado con José Ramón Bertomeu-Sánchez ; *Popularizing Science and Technology in the European Periphery, 1800-2000* (Ashgate, 2009), editado con Faidra Papanelopoulou and Enrique Perdiguero; *Los públicos de la ciencia. Expertos y profanos a través de la historia.* Marcial Pons. Madrid, 2011. Actualmente investiga diversos aspectos de la historia urbana de la ciencia y de la divulgación científica en Europa a finales del siglo XIX, y prepara un libro sobre el papel de la química como profesión en España en el siglo XX (1903-1975), en particular sobre el papel de los químicos durante el Franquismo. Colaborador permanente del Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A) y la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra). Email: agusti.nieto@uab.cat

AGUSTÍN ADÚRIZ – BRAVO



Dr. En Didáctica de las Ciencias. Estudió física, epistemología y didáctica de las ciencias naturales en la Universidad de Buenos Aires (Argentina), la Universitat Autònoma de Barcelona (España) y el King's College London (Reino Unido). Actualmente se desempeña como Investigador del CONICET en el Instituto CeFIEC de la Universidad de Buenos Aires. Ha sido Profesor Visitante de más de veinte Universidades de América y Europa. Colaborador y asesor permanente del Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A) y la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra). Email: adurizbravo@yahoo.com.ar

ALFIO ZAMBON



Farmacéutico (Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco), Licenciado en Química (Universidad Nacional del Sur) y Magister en Epistemología e Historia de la Ciencia (Universidad Nacional de Tres de Febrero). Es doctorando en Epistemología e Historia de la Ciencia en la Universidad Nacional de Tres de Febrero, bajo la dirección de Martín Labarca y la codirección de Olimpia Lombardi. Se desempeña como profesor de Epistemología y docente auxiliar del área Química, en la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco de Argentina. Email: azambon@infovia.com.ar.

ÁLVARO GARCÍA MARTÍNEZ



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

ANAMARIA ROCCA



Licenciada en Pedagogía e Ingeniera Agrónoma de la Universidad de Chile ha dictado clases de Biología durante más de 12 años en Establecimientos Educativos de Santiago. Ha dedicado parte de su actividad al desarrollo de métodos de enseñanza en aula y en trabajo individual con estudiantes que presentan síndrome de déficit atencional y otros en condiciones vulnerables. Ha trabajado con comunidades urbanas marginales en Quito, Ecuador y Santiago de Chile dentro del marco de Proyectos con UNICEF y PNUD. Es coautora de Educando en la Adversidad publicado por el Centro de Estudios sobre Desarrollo y Exclusión Social. Email: anirrocca@vtr.net

ANNAMARIA PESSOA DE CARVALHO



En la Universidad de São Paulo, obtuvo su Bachillerato y Licenciatura en Física, y Doctorado en Educación en el área de Enseñanza de las Ciencias. Es investigadora senior de CNPq, profesora de post-grado en FEUSP y del post-grado Inter-unidades en Enseñanza de las Ciencias de la misma universidad, en donde además, es la principal coordinadora del Laboratorio de Pesquisa y Enseñanza de la Física-LaPEF de la USP. Fue directora de FEUSP, perteneció a la dirección de la secretaría de enseñanza, y fue representante brasilera en la International Commission on Physics Education (1991-2000) cuando fue electa por dos mandatos. Perteneció a los C.As de Educación del CNPq y de la CAPES. Fue presidenta del Consejo Interamericano de Enseñanza de la Física, en donde hoy es representante brasilera. Perteneció a la Academia Paulista de Educación y colaboradora del Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A) y la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra). Email: ampdcarv@usp.br

CAROL JOGLAR CAMPOS



Doctora en Ciencias de la Educación por la PUC de Chile. Magister en Ciencias de la educación por la PUC do Rio Grande do Sul, Brasil. Magister en Educación en Ciencias y Matemática por la PUC de Chile. Licenciada en Ciencias Biológicas por la Universidad Estadual de Maringá, Brasil, actuó durante 20 años en la docencia de la biología. Investigadora del Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales (G.R.E.C.I.A) Investigaciones en Didáctica de las Ciencias Experimentales centrada el tema de la formación de profesores, historia de la ciencia, ciencia y género. Actualmente es profesora de la Pontificia Universidad Católica de Chile y de la Universidad Central de Chile. caroljoglar@outlook.com

CRISTIAN MERINO RUBILAR



Licenciado en Educación y Profesor de Química y Ciencias Naturales por la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales por la Universidad Autónoma de Barcelona. Es Profesor asociado e investigador en Enseñanza de la Química, en diferentes niveles educativos en el Instituto de Química de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile). Sus intereses de investigación se centran en la caracterización de la actividad química escolar para el desarrollo y análisis de actividades de innovación que favorezcan la construcción de explicaciones científicas escolares, con énfasis en el tránsito entre el fenómeno y la teoría bajo un enfoque modelizador para la formación de profesores de ciencias (especialmente en química). Integrante del Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A) y la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra). Como además el trabajo experimental y la enseñanza de la química a través de mediaciones tecnológicas. Email: cristian.merino@ucv.cl

ENRIQUE MUÑOZ VÉLEZ.



Licenciado en Filosofía, Universidad de San Buenaventura de Bogotá. Especialista en Lógica y Teoría del conocimiento. Miembro Fundador del Primer Congreso Latinoamericano de Filosofía, Universidad Santo Tomás de Bogotá. Miembro Fundador del Instituto Internacional de Estudios del Caribe (Universidad de Cartagena). Docente del Diplomado de la Universidad de Cartagena: Historia de la Diáspora, Construcción de Nación y Ciudadanía. Publicaciones. Es autor de numerosos libros, capítulos de libros y artículos en revistas a nivel nacional e internacional. perdigon53@yahoo.com

FRANKLIN MANRIQUE



Licenciado en Química de la Universidad Pedagógica Nacional de Bogotá, Colombia. Ha trabajado como asistente y soporte técnico a la investigación en el Proyecto AKA04 que lidera el Dr. Mario Quintanilla. Y ha realizado docencia de pregrado en la Facultad de Educación de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Santiago de Chile y Universidad Cardenal Silva Henríquez. Sus aportes teóricos y metodológicos giran en torno a la química cotidiana como recurso para la enseñanza de la química y el diseño de materiales educativos vinculantes con la historia de la ciencia y su enseñanza. Colaborador e integrante del Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A) y la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra). Email: cobaltato@gmail.com

GERARDO SAFFER



Estudios de Doctorado en la Universidad Autónoma de Barcelona (España) Licenciado en Educación, Profesor de Matemáticas y Física, y Diplomado en Estudios Ambientales por la Pontificia Universidad Católica de Chile. Sus principales intereses son la Didáctica de la Física y la Educación Ambiental. Actualmente se desempeña como profesor de Física y Sistemas Ambientales y Sociedades en The Mayflower School y como docente en las universidades Católica Silva Henríquez y Academia de Humanismo Cristiano. Además, es miembro permanente del Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A) y de la sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (BellaTerra). Email: gsaffer@uc.cl

GUILLERMO IGNACIO CALDERÓN LÓPEZ



Licenciado en Ciencias de la Educación y profesor de Biología en Enseñanza Media Científico-Humanista, Universidad de Santiago de Chile (USACH). Profesor de Química Colegio Terra Nova. Ha participado como miembro del Grupo de Análisis Filosófico del Dpto. de Filosofía de la Universidad de Santiago de Chile (2009-2012), miembro del Núcleo Milenio Centro Internacional de Investigación de Terremotos Montessus de Ballore (CIIT-MB), del Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, como asesor pedagógico (2009 - 2011). Actualmente es colaborador del Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales (G.R.E.C.I.A) de la Facultad de Educación de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Email: memociocalderon@gmail.com

HENRY GIOVANY CABRERA CASTILLO



Magister en Educación con énfasis en Educación en Ciencias, Licenciado en Biología y Química y estudiante del Doctorado Interinstitucional en Educación en la Universidad del Valle. Profesor auxiliar e investigador del Área de Educación en Ciencias y Tecnologías en la Universidad del Valle (Cali/Colombia). Becario del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – COLCIENCIAS. Su actual línea de investigación es relaciones entre la Historia y la Filosofía de las ciencias y la Educación en Ciencias e interesado principalmente en la formación de docentes de ciencias naturales. Miembro de la Asociación de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur y de la European Science Education Research Association Investigador de los Grupos de Investigación Ciencia, Educación y Diversidad y Ciencias, Acciones y Creencias y del Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A) y la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra). Email: henry.g.cabrera.c@correounivalle.edu.co

JORDI VALLVERDÚ



Profesor del Departamento de Filosofía de la Universitat Autònoma de Barcelona y desarrolla sus investigaciones en torno a múltiples aspectos de la filosofía de la ciencia y de la computación. Co-lidera el grupo de investigación SETE sobre emociones sintéticas. Reconocido como *Expert* por la Biosociety de la European Commission tiene publicados diversos artículos sobre bioética. Es miembro de la junta directiva de la ECAP (European Computer and Philosophy Organization) y autor del reciente libro *Una ética de las emociones* (2007). Fondo de Cultura Económica ha editado *Bioética computacional. [e-Biotecnología: simbiosis de valores]* (2009). Colaborador del Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A) y la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra). jordi.vallverdu@uab.cat

JOSÉ ANTONIO CHAMIZO



Cursó la licenciatura y la maestría en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México y el doctorado en la School of Molecular Sciences de la University of Sussex, Inglaterra. Profesor de la Facultad de Química desde 1977, ha impartido cerca de 100 cursos desde la secundaria hasta el doctorado y publicado más de ochenta artículos arbitrados sobre química, educación, historia y divulgación de la ciencia. Autor o coautor de más de treinta capítulos en libros y de cuarenta libros de texto y divulgación entre los que sobresalen los Libros de Texto

Gratuito de Ciencias Naturales, coordinados por él, y editados por la Secretaría de Educación Pública de los cuales se han publicado a la fecha más de cien millones de ejemplares. Ha sido Director General del Colegio Madrid AC (1989-1997) y de la Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM (1997-2000) así como profesor de la Universidad Autónoma Metropolitana (1987), la Universidad Autónoma de Puebla (1988, 2002) y la Universidad Autónoma de Barcelona (2005). Colaborador y asesor del Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A) y la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra). Email: jacg@joseantoniochamizo.com

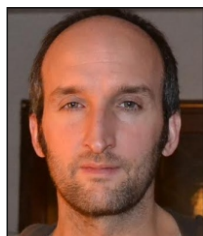
JOSÉ RAFAEL ARRIETA VERGARA



Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Córdoba, especialista en docencia universitaria de la Universidad Industrial de Santander, candidato a Magister en educación de la Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB). Docente tiempo completo Instituto Universitario de la Paz, UNIPAZ, Director del grupo de investigación en cultivos tropicales y enseñanza de las ciencias, INYUBA y miembro del grupo de investigación de Representaciones conceptuales IREC de la Universidad Pedagógica Nacional. Es coautor de libros, capítulos de libros y

artículos en revistas a nivel nacional e internacional. Colaborador en el Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A) y la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra). Email: arrietavergara@gmail.com

LEONARDO GONZÁLEZ GALLI



Doctor en Ciencias Biológicas (con orientación en didáctica de las ciencias naturales) y Profesor de Enseñanza Media y Superior en Biología (ambos títulos obtenidos en la Universidad de Buenos Aires). Actualmente se desempeña como investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) en el Instituto de Investigaciones CEFIEC de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires (Argentina) y como docente en el Profesorado de Biología de dicha universidad. Su línea principal de investigación se centra en la enseñanza y el aprendizaje de la biología evolutiva, conjugando los aportes de la biología, la didáctica, la epistemología y la psicología cognitiva para identificar los problemas que dificultan el aprendizaje de esta rama de la biología y para desarrollar y probar estrategias didácticas innovadoras tendientes a superar estas dificultades. Como investigador ha publicado artículos en revistas especializadas así como capítulos de libros. También ha publicado trabajos de divulgación científica y se desempeña como ilustrador especializado en naturaleza. Colabora y asesor del Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A) y la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra). Email: leomgalli@gmail.com

LUIGI CUELLAR FERNANDEZ



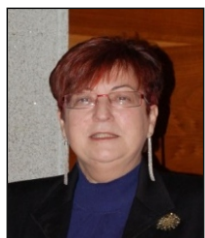
Licenciado en Química (U. Distrital “F J de C”), Magíster en Docencia de la Química (U. Pedagógica Nacional), Bogotá-Colombia. Doctor en Ciencias de la Educación, Pontificia Universidad Católica de Chile. Miembro de la Red Internacional de Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Ha integrado permanentemente el Laboratorio (G.R.E.C.I.A) de investigación en Didáctica de las Ciencias, siendo uno de los pioneros en Chile en doctorarse en temas inherentes a esta área. Autor de numerosas publicaciones, artículos, capítulos de libro, conferencias y ponencias relacionados con su investigación en el ámbito de la Historia de la Ciencia y la formación de profesores. Actualmente es académico e investigador de la Universidad Católica de la Santísima Concepción (Chile). E-mail: lcuellar@ucsc.cl

LÚCIA HELENA SASSERON



Licenciada en Física en Universidad de São Paulo (2001), universidad en la cual consolidó su maestría en Enseñanza de las Ciencias (Física) y Doctorado en Educación. Es profesora del Departamento de Metodología de Enseñanza y Educación comparada de la Facultad de Educación en USP, dicta las disciplinas para los cursos de Pedagogía y Licenciatura en Física. Es orientadora en los Programas de Post-grado en Educación de FEUSP e Inter-unidades en Enseñanza de las Ciencias. Es una de las coordinadoras del Laboratorio de Pesquisa y Enseñanza de la Física – LaPEF de la USP, y actualmente, es secretaria del área de enseñanza en la Sociedad Brasileira de Física. Tiene interés, en particular, en los temas de Enseñanza de las Ciencias, Enseñanza de la Física, Argumentación en sala de aula y Alfabetización Científica. Email: sasseron@usp.br

MARIA ALVAREZ LIRES



Dra. en Ciencias Químicas de la Universidad de Vigo en Galicia, España y catedrática de enseñanza secundaria. Autora de numerosas publicaciones, artículos, capítulos de libros y libros relacionados con sus investigaciones en el ámbito de la historia de la ciencia y género. Ha participado activamente en instituciones europeas vinculantes con su área de investigación. Del mismo modo ha sido directora y co-directora de tesis de maestría y doctorado en enseñanza de las ciencias. Profesora visitante en diferentes Centros de Investigación y universidades en América Latina y Europa. Colaboradora y asesora del Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A) y la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra). Email: liresmari@gmail.com

MARIO QUINTANILLA GATICA



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

MARTIN LABARCA



Doctor Mención Ciencias Sociales y Humanas (Universidad Nacional de Quilmes), Licenciado en Química (Universidad Nacional de La Pampa) y Profesor en Química (Instituto Superior de Formación Docente N°45, Buenos Aires). Es Investigador Adjunto del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y profesor de Filosofía de la Ciencia en la Universidad Nacional de Quilmes de Argentina. Fue Investigador Visitante en universidades de Brasil, Chile, Colombia y Uruguay.

Ha publicado trabajos sobre Filosofía de la Química en revistas filosóficas, científicas y de educación en química de difusión internacional. Es miembro de la Asociación de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur y de la International Society for the Philosophy of Chemistry. Colaborador y asesor del Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A) y la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra). Email: mglabarca@gmail.com

MERCÈ IZQUIERDO



Doctora en química, catedrática de universidad emérita de Didáctica de las ciencias (UAB). Ha sido profesora de química en secundaria y en la universidad y de didáctica de las ciencias en la universidad. Ha dedicado los últimos veinte años a la formación de profesores (primaria y secundaria) Su investigación se dedica a lenguaje y enseñanza de las ciencias (grupo reconocidos LIEC, del cual fue la primera directora) y a la fundamentación histórica y filosófica de la didáctica de las Ciencias. Ha publicado numerosos artículos, capítulos de libro y libros sobre los resultados de las

investigaciones que ha dirigido. Ha sido presidenta del Colegio profesional de profesores, responsable de Formación de profesores en el Departament d'Ensenyament (Generalitat de Catalunya) vicerectora de la UAB. Forma parte del grupo que fundó el Centre d'Estudis de Història de la Ciència (CEHIC) en la UAB. Profesora visitante en diferentes Centros de Investigación y universidades en América Latina y Europa. Miembro honorario internacional del Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A) y la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra). Email: merce.izquierdo@uab.es

NÚRIASOLSONA PAIRÓ



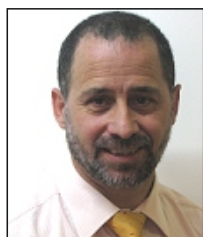
Química, Master en Didáctica de las Ciencias Experimentales y Doctora en Ciencias de la Educación. Profesora de Secundaria y de la Universidad Autónoma de Barcelona (España). Autora de numerosos artículos y de publicaciones, como *Mujeres científicas de todos los tiempos*, *La química de la cocina*, *Factores a tener en cuenta para abordar la Coeducación en un centro educativo*, *Los saberes científicos de las mujeres*, *Análisis comparativo de intervenciones formativas sobre el cambio químico*, *Diálogos con recetas químicas*, *Marie Curie* y algunas categorías de análisis de las biografías científicas y *La historia de la alquimia*, textos y prácticas. Colaboradora y asesora permanente del Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A) y la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra). Email: nsolsona@xtec.cat

PAULACEKALOVIC



Profesora de biología desde el año 2005 (Pontificia Universidad Católica, Chile) con un Máster en Gestión y Auditorías Ambientales con mención en Educación Ambiental (Universidad de las Palmas de Gran Canarias, España), además de ser Bióloga Marina desde el año 1999. Actualmente trabajo en el colegio Saint George en Santiago, y colaboradora del Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A) y la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra) desde el año 2010. Email: pcekalo@uc.cl

RICARDO DE LA FUENTE



Profesor de Ciencias Naturales y biología: Magíster en gestión de Centros Educativos, Universidad Alberto Hurtado (UAH). Magíster en Educación, mención Evaluación, Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Educación. Diplomado en currículum y evaluación. Universidad Complutense de Madrid – FIDE. Santiago, Chile. Colaborador e investigador del Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A) y la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra). E. mail: odela@uc.cl

RODRIGO PAEZ



Licenciado en Educación en Biología y Profesor de Biología y Ciencias Naturales, Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, UMCE (Chile). Actualmente se desempeña como profesor de enseñanza media de la asignatura Biología en el Colegio Santa Isabel de Hungría en la comuna de La Cisterna, Santiago de Chile y como profesor auxiliar de los cursos de Química para séptimo y octavo año básico en el proyecto Escuela de Ciencias, perteneciente a la Escuela de Verano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Chile. Miembro del *Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales* (G.R.E.C.I.A) de la Facultad de Educación de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Email: r_paezc@hotmail.com

SILVIO DAZAROSALES



Licenciado en Ciencias de la Educación en Biología y Química de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Especialista en Docencia Universitaria de la Universidad Industrial de Santander (UIS), Adelantó estudios de Doctorado en el periodo del 96 al 98 en Didáctica de las Ciencias Experimentales en la Universidad de Valencia (UV), España. Candidato a Magister en educación de la Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB). Profesor en la Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad de La Paz (UNIPAZ) y de la Institución Educativa del colegio Diego Hernández de Gallegos (DHG). Miembro de los grupo investigación de cultivos tropicales y enseñanza de las ciencias INYUBA de UNIPAZ y el de Representaciones conceptuales IREC de la Universidad Pedagógica Nacional (UPN). Es coautor de libros, capítulos de libros y artículos en revistas a nivel nacional e internacional. Miembro de la Red Latinoamericana en didáctica de las ciencias naturales. Colaborador y asesor permanente al Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A) y la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra). Email: biosidaza52@hotmail.com

VERÓNICA ASTROZA



Profesora de Ciencias Naturales y Biología, Magíster en Educación mención en Diseño Instruccional por la Pontificia Universidad Católica de Chile. Especialista en Educación Tecnológica. PUC-Aleco – Mondragón. País vasco. Colaboradora e investigadora del Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A) y la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra). E. mail: mastroza@uc.cl

YADRÁN GÓMEZ-MARTÍNEZ



Profesor de Ciencias y Física, Universidad de Concepción (2012). Actualmente, realiza una maestría en Educación en el área de Enseñanza de la Ciencias (Físicas) y Matemáticas en la Universidad de São Paulo, y es becario por la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica de Chile - CONICYT. Se ha involucrado activa y permanentemente en diferentes instancias de formación académica, divulgación, producción y transferencia de conocimiento científico en el área de Enseñanza de la Física en Chile, Latinoamérica y Europa. Es miembro de la Red

Latinoamericana de Investigación en Didáctica de las Ciencias. Director del Equipo Austral de Investigación en Enseñanza de la Física de la Universidad de Concepción, Socio fundador y gestor de las directrices de la Sociedad Chilena de Enseñanza de la Física (SOCHEF), y miembro del Laboratorio de Pesquisa y Enseñanza de la Física-LaPEF de la USP y del Laboratorio de Investigación en didáctica de las Ciencias (G.R.E.C.I.A). Email: yadrangomez@gmail.com

*La formación ciudadana, valórica y planetaria nos es exclusividad
de ninguna disciplina del conocimiento sino de todas.*

Silvio Daza R.

La historia de las ciencias es una historia llena de luchas, denuncias y vueltas a empezar. De errores que generaron verdades, de pruebas que dejaron de serlo, de esperanzas y de frustraciones. Ha sido y es una sistematización siempre inacabada, interesante e incompleta de saberes valiosos y diversos. Es además la historia y la filosofía un continuo ir y venir de la certeza a la incertidumbre y viceversa, constituyéndose en contenido y continente del complejo engranaje del tejido social y de 'las culturas'. En este sentido, es fundamental que las clases de ciencias se transformen en verdaderos foros de discusión, permitiendo así reconocer que la historia y la filosofía de las ciencias es la historia de hombres y mujeres que buscan comprender e intervenir en mundo. Una parte de esa historia es también hoy, nuestra propia historia de enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

Los autores y autoras de este libro especialmente dirigido a estudiantes y profesores de enseñanza media y superior, ponen en escena, en un lenguaje fluido y bien documentado, a manera de diálogo de diversos saberes científicos que nos son tan comunes, el valor de la historia y la filosofía de la ciencia en una perspectiva de ciudadanía y valores, bases fundamentales de cualquier Reforma Educativa en nuestras geografías oprimidas por legados desafectos de comprensión y afectividad por el conocimiento. Esto último, continúa siendo tema pendiente en la educación científica latinoamericana e incorporarlo en la formación docente y en la enseñanza es nuestra tarea iimpostergable! (MQSDHC).

ISBN: 978-958-8289-47-2



9

789588 289472