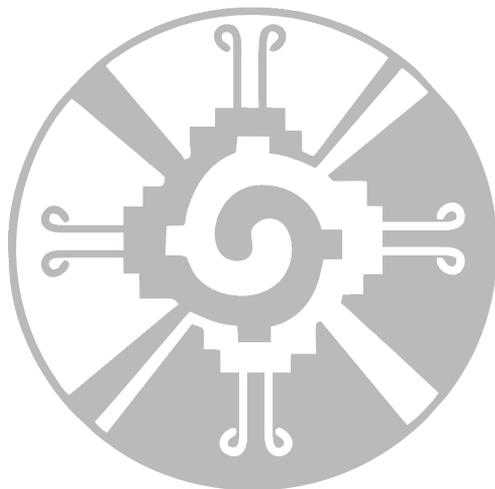


La historia de la ciencia en la investigación didáctica

aporte a la formación y el desarrollo profesional
del profesorado de ciencias



M. Quintanilla (Compilador), C. Agudelo, H. Cabrera, M. Cerquera, L. Cuéllar, E. García, C. Garrido, G. Hernández, O. Godoy, L. González, C. Joglar, y N. Solsona.

La historia de la ciencia en la investigación didáctica

***Aporte a la formación y el desarrollo profesional del
profesorado de ciencias***

Autores

**M. Quintanilla (Compilador), C. Agudelo, H. Cabrera, M. Cerquera,
L. Cuéllar, E. García, C. Garrido, G. Hernández, O. Godoy,
L. González Galli, C. Joglar y N. Solsona.**



GRECIA
Laboratorio de Investigación en
Didáctica de las Ciencias Experimentales



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE



latinoamericana
de Investigación en Didáctica
de las Ciencias Experimentales

La historia de la ciencia en la investigación didáctica

Aporte a la formación y el desarrollo profesional del profesorado de ciencias

Compilador

Mario Quintanilla Gatica

Asistente de edición

Rodrigo Páez Cornejo

Corrección literaria final

Alida Mayne-Nicholls

Comité Editorial Científico Internacional

Agustín Adúriz-Bravo (Universidad de Buenos Aires, Argentina)

José Antonio Chamizo (Universidad Autónoma de México, México)

Carles Furió (Universidad de Valencia, España)

Lydia Galagosky (Universidad de Buenos Aires, Argentina)

Valentín Gavidia (Universidad de Valencia, España)

Alma Adrianna Gómez (Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, México)

Carla Hernández (Universidad de Santiago de Chile, Chile)

Vicente Mellado (Universidad de Extremadura, España)

Eduardo Mortimer (Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil)

Diana Patricia Rodríguez (Universidad Pedagógica Nacional, México)

Cristian Salas (Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile)

Mercè Izquierdo i Aymerich (Universidad Autónoma de Barcelona, España)

María Álvarez Lires (Universidad de Vigo, España)

Producto científico del Proyecto REDES 150107 y del proyecto AKA EDU/03 (2016-2019), ambos patrocinados por el Programa de Cooperación Científica Internacional (PCCI) de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (Conicyt) de Chile, la Academia de Ciencias de Finlandia y la Red Latinoamericana de Investigación en Didáctica de las Ciencias (REDLAD)

Santiago de Chile

2017

La historia de la ciencia en la investigación didáctica. Aporte a la formación y el desarrollo profesional del profesorado de ciencias.

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

Compilador del volumen: Mario Quintanilla Gatica.

Autores y Autoras:

© Carlos Agudelo / Henry Cabrera / Martha Cerquera / Luigi Cuéllar / Edwin García /
Cristian Garrido / Gilberto Hernández / Olga Godoy / Leonardo González Galli / Carol Joglar /
Mario Quintanilla / Nuria Solsona.

De esta Edición:

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

1a edición: Agosto de 2017
Inscripción Propiedad Intelectual N° A-281910
ISBN 978-956-09033-0-3

Editorial Bellaterra Ltda.

Edición: AlidaMayne-Nicholls.
Revisión de estilo: AlidaMayne-Nicholls.
Corrección literaria: AlidaMayne-Nicholls.
Diseño de portada: Juan David Alvarado.
Diseño y diagramación: Antonio Segovia.
Impresión: Andros Impresores.

Impreso en Santiago de Chile

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

Todos los Derechos Reservados.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a cada uno de los compañeros y compañeras que directa o indirectamente contribuyeron al resultado de este nuevo libro *La historia de la ciencia en la investigación didáctica. Aporte a la formación y el desarrollo profesional del profesorado de ciencias*. En primer lugar, a todo el profesorado e investigadores/as de la Red Latinoamericana de Investigación en Didácticas las Ciencias Experimentales (REDLAD), a la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y filosofía de las ciencias BELLATERRA, al Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias GRECIA, al Programa de Cooperación Científica Internacional (PCCI) que, a través de sus proyectos REDES 150107 y AKA EDU/ 03, hacen posible que este libro sea un instrumento más de colaboración interinstitucional e internacional para la comunidad de didáctica de las ciencias

A nuestro diseñador de portada, gran amigo de REDLAD, Juan David Alvarado.

A Rodrigo y Alida por su profesionalismo, autoexigencia y buena voluntad mi afecto, gratitud y admiración.

Mario Roberto Quintanilla Gatica
Compilador

Santiago de Chile, agosto de 2017

Dedicamos este libro con gratitud y reconocimiento a nuestra maestra y mentora de siempre, Dra. Mercé Izquierdo i Aymerich incansable formadora de generaciones en España y América Latina, por una ciencia ciudadana y con sentido histórico.

Índice

	Presentación de la obra	12
	<i>Mario Quintanilla Gatica</i>	
	Prólogo	15
	<i>Agustín Adúriz-Bravo</i>	
	CAPÍTULO 1	17
La historia de la ciencia y su aporte a la investigación didáctica, la formación del profesorado y el aprendizaje de las ciencias	<i>Mario Quintanilla Gatica</i>	
	CAPÍTULO 2	34
Darwin y los naturalistas del Plata: una propuesta para la utilización de la historia y la sociología de la ciencia en la enseñanza de la teoría de la evolución	<i>Leonardo González Galli</i>	
	CAPÍTULO 3	60
Aportes para la enseñanza del concepto homeostasis derivados de su análisis histórico	<i>Gilberto Manuel Hernández</i> <i>Henry Giovany Cabrera Castillo</i>	
	CAPÍTULO 4	74
La inclusión de la historia de la ciencia en la enseñanza de la química. Una propuesta para la formación profesional docente	<i>Luigi Cuéllar Fernández</i>	
	CAPÍTULO 5	103
Diseño de situaciones-problema para la enseñanza de la química, a partir del análisis histórico de experimentos de combustión	<i>Henry Giovany Cabrera Castillo</i>	
	CAPÍTULO 6	121
Agnes Pockels: pionera del estudio de la tensión superficial	<i>Núria Solsona-Pairó</i> <i>Carol Joglar</i> <i>Cristian Garrido</i>	
	CAPÍTULO 7	142
Análisis histórico de la óptica de Huygens: Aportes a la Didáctica de la Física desde enfoques culturales	<i>Edwin Germán García Arteaga</i> <i>Martha Y. Cerquera Cuellar</i>	

Diseño de actividades para el estudio de la modelización del movimiento uniforme acelerado (MUA) en estudiantes universitarios <i>Olga Lucia Godoy Morales</i>	CAPÍTULO 8 162
La función de la tabla periódica en la enseñanza de la química: ¿un sistema de elementos o una clasificación de átomos? Propuesta de una herramienta para el análisis <i>Carlos Guillermo Agudelo Carvajal</i>	CAPÍTULO 9 185
Autores y autoras	200

Presentación

Este libro, *Historia de la ciencia en la investigación didáctica. Aportes a la formación y el desarrollo profesional del profesorado de ciencias*, se constituye en uno de los productos generados a luz de las directrices epistemológicas y metodológicas de los Proyectos AKA-03 y REDES 150107, y que se materializa en nueve capítulos. Su finalidad, por cierto, es contribuir al debate y la profundización teórica de cómo valorar e incorporar la historia de la ciencia en la investigación didáctica y la formación de profesores de ciencias naturales. Cada uno de los capítulos escritos por destacados académicos de la Red Latinoamericana de Investigación en Didáctica de las Ciencias (REDLAD) contiene valiosos aportes que trascienden la acción meramente instrumental u operativa, para convertirse en un reto intelectual valioso, aunque discreto e inacabado, para la reflexión y el estudio tanto teórico como metodológico, del rol de la historia de la ciencia en la educación científica.

Cada uno de los capítulos incluidos recoge el espíritu de nuestro laboratorio de investigación y aborda, con evidencias suficientes, creatividad y discreción, una temática de gran actualidad e importancia práctica, como lo es el papel de la historia de la ciencia en la formación de profesores y en la investigación didáctica. En cada caso en particular, los diferentes enfoques y contenidos se sitúan en un terreno donde, ciertamente, muchos aspectos teóricos deben ser aún esclarecidos o caracterizados, pero que resultan de gran interés para la innovación curricular, la investigación didáctica, y la formación inicial y continua del profesorado de ciencias naturales.

Los temas que se abordan son variados, contextualizados a realidades locales y consensos teóricos compartidos. Son objeto de atención aspectos muy diversos de las ciencias, lo cual constituye buena parte de su riqueza y originalidad. En cada uno de los capítulos se advierte y suma una coincidencia hacia la valoración de la historia de la ciencia en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias naturales.

En el **capítulo 1**, “La historia de la ciencia y su aporte a la investigación didáctica, la formación del profesorado y el aprendizaje de las ciencias”, el profesor Mario Quintanilla Gatica presenta y discute algunos aspectos teórico-conceptuales acerca del sentido y valor de incorporar la historia de la ciencia en la investigación didáctica y en la formación inicial y continua del profesorado de ciencias naturales; compartiendo algunas directrices orientadoras para identificar y caracterizar el valor de la historia de la ciencia en la investigación didáctica, la formación de profesores y el aprendizaje de las ciencias naturales, frente a los desafíos que nos impone una nueva cultura docente y ciudadana.

En el **capítulo 2**, “Darwin y los naturalistas del Plata: una propuesta para la utilización de la historia y la sociología de la ciencia en la enseñanza de la teoría de la evolución”, el Dr. Leonardo González Galli, a partir de dos casos debidamente documentados, propone algunos análisis metacientíficos y una discusión sobre aspectos sociológicos relacionados con la cuestión ciencia y periferia. Se pone en evidencia la influencia de la nacionalidad y las asimetrías geopolíticas que atraviesan la actividad científica a fines del siglo XIX.

En el **capítulo 3**, “Aportes para la enseñanza del concepto homeostasis derivados de su análisis histórico”, los investigadores Gilberto Manuel Hernández y Henry Giovany Cabrera Castillo tienen como objetivo determinar algunos aportes para la enseñanza del concepto homeostasis derivados del estudio de su desarrollo histórico. Para ello, primero se presenta un breve estudio del

desarrollo histórico de la homeostasis, y, posteriormente, se discuten las implicaciones que pueden ser útiles para su enseñanza.

En el **capítulo 4**, “La inclusión de la historia de la ciencia en la enseñanza de la química. Una propuesta para la formación profesional docente”, el Dr. Luigi Cuéllar Fernández aborda una serie de planteamientos –teóricos y empíricos– frente a los cuales la historia de la ciencia se ha convertido en un referente metateórico que promueve el diseño e implementación de nuevas propuestas de enseñanza de la química, que a su vez contribuyen al mejoramiento del discurso, la comunicación científica escolar, los procesos formadores de los profesores y el aprendizaje de la química en el estudiantado.

En el **capítulo 5**, “Diseño de situaciones-problema para la enseñanza de la química, a partir del análisis histórico de experimentos de combustión”, el Dr. Henry Giovany Cabrera Castillo se refiere al debate histórico sobre la naturaleza de la combustión como un recurso para resaltar la reflexión con base en conceptos claves en química en la formación de profesores de ciencias. Se inicia con la conceptualización de un análisis histórico de los textos histórico-científicos. Continúa con la importancia de la combustión en la enseñanza de la química y, las situaciones-problema, como herramienta para la enseñanza de la química. Avanza hacia los aspectos metodológicos y de cómo llevarla cabo. Finaliza con dos ejemplos de situaciones-problema.

En el **capítulo 6**, “Agnes Pockels: pionera del estudio de la tensión superficial”, Núria Solsona-Pairó, Carol Joglar y Cristian Garrido comparten los resultados de una propuesta para la enseñanza de la tensión superficial, desde el estudio de la historia de la ciencia, con un enfoque de género. La propuesta proviene del estudio de la tensión superficial y el trabajo de investigación desarrollado por Agnes Pockels, un ama de casa quien, aunque no le permitieron estudiar ciencias, realizó importantes estudios en la cocina de su casa, sobre las monocapas y la tensión superficial.

En el **capítulo 7**, “Análisis histórico de la óptica de Huygens: Aportes a la Didáctica de la Física desde enfoques culturales”, Edwin García y Martha Cerquera realizan un análisis histórico crítico de la óptica en torno al comportamiento de propagación y refracción de la luz, las controversias y tensiones presentes en los trabajos de Descartes, Newton y Huygens. Análisis que sirve al docente para establecer relaciones y diferencias con los libros de texto que utiliza e identificar las limitaciones que estos poseen al presentar y explicar los fenómenos ópticos.

En el **capítulo 8**, “Diseño de actividades para el estudio de la modelización del movimiento uniforme acelerado (MUA) en estudiantes universitarios”, la profesora de física Olga Lucia Godoy Morales plantea la relación entre dos líneas de investigación de la didáctica de las ciencias: la modelización y la historia y la filosofía de las ciencias por medio del estudio del movimiento uniformemente acelerado en estudiantes de física de un programa tecnológico en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá, Colombia). La autora presenta avances del diseño de una propuesta didáctica que se espera contribuya a que los estudiantes aprendan ciencia, aprendan sobre la ciencia y aprendan a hacer ciencia desde una investigación que estudia la modelización que realizan los estudiantes universitarios, pertenecientes al programa de tecnología, sobre el movimiento uniformemente acelerado al abordar estudios históricos de Galileo.

Finalmente en el **capítulo 9**, “La función de la tabla periódica en la enseñanza de la química: ¿un sistema de elementos o una clasificación de átomos? Propuesta de una herramienta para el

análisis”, el profesor Carlos Guillermo Agudelo Carvajal explora un instrumento para analizar cómo se presenta la tabla periódica en los libros de texto de química de secundaria y bachillerato, y cómo la usamos los profesores. Se trata de una herramienta de reflexión didáctica, basada en la historia y la filosofía de la química, útil para interpretar y caracterizar las entidades científicas que se están enseñando en los cursos de química cuando se trata la TP y la función que se le da a esta.

Proporcionamos así a los docentes e investigadores en didáctica de las ciencias naturales mediante esta compilación, una sistematización discreta acerca del valor de la historia de la ciencia en la investigación didáctica y la formación del profesorado que permite debatir acerca de elementos de teoría y campo para el debate educativo y didáctico.

Por último, quisiera enfatizar que todos los aportes formalizados en este nuevo libro promovido y patrocinado por REDLAD continúan, en palabras de Antonio Machado, “haciendo camino al andar”. Sus reflexiones, orientaciones y evidencias residen de manera natural en sus ethos de especialistas, investigadores y profesores de diferentes universidades y países. Todos resaltan por el profundo conocimiento en las distintas disciplinas y tópicos que se abordan en el libro. Por tanto, no queda menos que reconocer el hecho de que hayan aportado su esfuerzo y concitado voluntades para poner a nuestra disposición tan importante material educativo para profesores, estudiantes de postgrado e investigadores en didáctica de las ciencias, que seguramente trascenderá en el tiempo y contribuirá humildemente a mejorar algunas dimensiones relevantes de la educación científica en nuestros países.

Dr. Mario Quintanilla Gatica

Profesor asociado Facultad de la Educación
de la Pontificia Universidad Católica de Chile
Director de la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia
Director del Laboratorio GRECIA

Santiago de Chile, agosto de 2017

Prólogo

Agustín Adúriz-Bravo
CONICET/Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
CeFIEC-Instituto de Investigaciones Centro de Formación e
Investigación en Enseñanza de las Ciencias
GEHyD-Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales

La epistemología (también llamada, en algunos de los países hispanohablantes, “filosofía de la ciencia”) y la historia de la ciencia tienen un largo y rico pasado de contribuciones dirigidas a mejorar la calidad de la enseñanza de las ciencias, que se remonta, como nos recuerda el académico australiano Michael Matthews, a la segunda mitad del siglo XIX. En pleno auge del positivismo, escuela filosófica cuyo ambicioso proyecto intelectual incluía el fomento de una educación científica dirigida a la burguesía, epistemólogos, filósofos, historiadores, científicos, intelectuales, políticos y educadores abogaron por incluir la mirada metacientífica en las clases de ciencias naturales.

El corpus acumulado de aportes de las metaciencias a la enseñanza de las ciencias, que incluye producciones de personajes notorios como Ernst Mach, Gaston Bachelard, Albert Einstein, James B. Conant o Richard Feynman, de alguna manera se interrumpe a inicios de la década del 50 del siglo XX, con la emergencia de lo que yo llamo la “etapa tecnológica” de la didáctica de las ciencias naturales, durante la cual nuestra disciplina comienza a configurarse tímidamente. Esta primera oleada de innovaciones fundamentadas para la educación científica (en especial, aquella que se realizaba en la secundaria superior y en la universidad), empujada por la “carrera” por la supremacía científico-tecnológica entre los Estados Unidos y la Unión Soviética durante la Guerra Fría, dirigió la epistemología y la didáctica hacia carriles divergentes, iniciando lo que el investigador estadounidense Richard Duschl llamó un “desarrollo mutuamente excluyente” de estas dos disciplinas.

En efecto, desde la posguerra y por varias décadas primó un uso fuertemente instrumental de la historia de la ciencia “hagioprosopográfica”, que cantaba las loas de los varones blancos “descubridores” de grandes verdades sobre el mundo, y de la epistemología del infausto “método científico” de inspiración deweyana, que pretendía normativizar la veracidad de esos “descubrimientos”. La pretensión ingenua era que esos relatos triunfalistas y sobresimplificados sobre “actos de genialidad” llenaran las aulas de “pequeños científicos” que luego se volcarían hacia estudios superiores científico-tecnológicos y sostuvieran la maquinaria generada por la confluencia entre capital monetario, aparato estatal y belicismo.

Afortunadamente para el desarrollo intelectual y material de nuestra disciplina de investigación, ese distanciamiento denunciado por Duschl se ha venido revirtiendo sostenidamente desde inicios de la década del 90. Podemos considerar que entonces se inicia, al calor de la discusión en torno a los méritos y defectos del constructivismo didáctico, la “aproximación actual” entre metaciencias y didáctica de las ciencias de la que Matthews ha escrito ampliamente. Epistemología e historia de la ciencia, según la concepción que hoy en día sostenemos quienes, desde la didáctica de las ciencias naturales, nos nutrimos de ellas, no deben ser reducidas a instrumentos puestos al servicio de una enseñanza de las ciencias que busca la perpetuación del sistema científico, sino

entendidas como herramientas de reflexión que propendan a hacer de la ciencia un insumo para la emancipación de las personas.

A inicios del siglo XXI, la existencia de relaciones sustantivas entre las metaciencias y la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales es reconocida y valorada dentro de la comunidad de didactas de las ciencias. Entendemos que la mirada “meta-”, de segundo orden, puede contribuir de maneras muy diversas y potentes a la educación científica en las aulas de los distintos niveles educativos, desde el inicial hasta el universitario. En mi opinión, la epistemología y la historia de la ciencia realizan los siguientes aportes, entre otros muchos: 1. proporcionan una reflexión crítica sobre la llamada “naturaleza de la ciencia” (es decir, sobre qué es el conocimiento científico y cómo se elabora) que tiene gran valor para la formación de la ciudadanía; 2. permiten establecer una mirada diacrónica y contextual sobre la ciencia como “hija de su lugar y de su época”; 3. habilitan para la evaluación pública y colectiva de los alcances y límites de la ciencia como producto y como proceso; 4. humanizan la actividad científica y a los científicos que la llevan adelante, posibilitando entender la ciencia como parte sustancial de la cultura; 5. proveen de herramientas rigurosas de pensamiento y de discurso, tales como la lógica, la argumentación o la narrativa; 6. generan en el profesorado de ciencias una comprensión más completa de las disciplinas a enseñar y de los vínculos de ellas con otras áreas curriculares; 7. apoyan la generación de ideas, enfoques, materiales, recursos y textos para diseñar una enseñanza de las ciencias naturales más significativa.

Todos estos diferentes aportes de las metaciencias a la educación científica están representados en el presente libro, que además da muestras de la potencia que han alcanzado la investigación y la innovación didácticas “informadas” por la epistemología y la historia de la ciencia en nuestra región, Hispanoamérica. La profusa actividad académica hispanoamericana que vincula reflexiones metacientíficas y didácticas ha sido reconocida internacionalmente por su amplitud y su profundidad; muestra notable de tal actividad han sido los exitosísimos Congresos Latinoamericanos del IHPST-International History, Philosophy, and Science Teaching Group, realizados en Maresias, Brasil (2010), Mendoza, Argentina (2012) y Santiago, Chile (2014).

Parte de la nutrida, productiva y comprometida comunidad que organizó y participó de esos tres eventos, y algunos jóvenes formados en los grupos de investigación de dicha comunidad, autoran los distintos capítulos de este volumen. Es por ello que, a mi juicio, se trata de una obra necesaria para conocer un poco más qué se está haciendo, desde nuestro querido “sur”, en esta línea de trabajo tan apasionante que se ocupa, como le gusta decir a la didacta catalana Mercè Izquierdo-Aymerich, de “buscar pistas” epistemológicas e históricas para incidir en las aulas de ciencias y en la formación del profesorado que en ellas labora.

CAPÍTULO 1

La historia de la ciencia y su aporte a la investigación didáctica, la formación del profesorado y el aprendizaje de las ciencias

Mario Quintanilla-Gatica

Facultad de Educación
Pontificia Universidad Católica de Chile
mquintag@uc.cl

Contenidos

Resumen

1.1 Algunas aproximaciones iniciales sobre el carácter social de la ciencia

1.2 La historia de la ciencia como campo metateórico y disciplinar

1.3 El contexto y relevancia de la HC en la formación del profesorado de ciencias naturales

1.4 ¿Qué historia de la ciencia aprender y enseñar para promover una cultura ciudadana?

1.5 Introducir la historia de la ciencia en la formación de profesores de ciencias naturales. Un modelo desde la investigación didáctica

1.6 Conclusiones

Agradecimientos

Referencias

La historia de la ciencia y su aporte a la investigación didáctica, la formación del profesorado y el aprendizaje de las ciencias

Resumen

En este capítulo quisiera presentar y discutir de manera discreta, algunos aspectos teórico-conceptuales acerca del sentido y valor de incorporar la historia de la ciencia en la investigación didáctica y en la formación inicial y continua del profesorado de ciencias; compartiendo siempre, de manera incompleta e inacabada, algunas directrices orientadoras para identificar y caracterizar el valor de la historia de la ciencia en la investigación didáctica, la formación de profesores y el aprendizaje de las ciencias naturales, frente a los desafíos que nos impone una nueva cultura docente y ciudadana. Interesa especialmente, que el profesor de ciencias naturales, disponga de nuevos elementos teóricos y praxiológicos para fundamentar una posición epistemológica frente al desarrollo histórico del conocimiento científico, de cómo se puede resignificar conceptual y pragmáticamente para promover retos intelectuales valiosos en sus estudiantes.

1.1 Algunas aproximaciones sobre el carácter social de la ciencia

América Latina es una zona del mundo con gran porcentaje de fracaso escolar, particularmente en enseñanza de las ciencias naturales. A ello se puede agregar el deterioro de la calidad de enseñanza, que se pone de manifiesto en constataciones tales como la deserción creciente de estudiantes en los niveles secundarios superiores, el desaliento de los docentes, la falta de articulación con la realidad de los procesos de formación del profesorado, la escasez de recursos y las carencias de articulación de las tecnologías adecuadas para acompañar los procesos educativos desde una visión realista pragmática de la naturaleza de la ciencia y su inserción en la sociedad. Mirando la misma realidad desde otra perspectiva, se podría decir que es cada día más grande la brecha que separa esta zona del mundo de la producción de ciencia y tecnología, llamada de punta. Nada de esto es ajeno al modelo neoliberal asentado entre nosotros, el cual pretende instalar la marginalidad como inevitable y necesaria, lo que incide decididamente –de manera negativa– en las pretensiones de lograr y potenciar una educación científica sobre la base de la calidad con equidad, de manera sostenida, racional y razonable en el espacio ciudadano de toma de decisiones.

Las recientes y continuas crisis económicas, políticas, sociales y ambientales a nivel planetario dejan en evidencia que los avances en la comprensión y desarrollo del conocimiento requieren que los programas de formación inicial y continuada del profesorado de ciencias naturales sustenten su actividad y finalidades educativas en un contexto civilizador, con retos intelectuales valiosos para los estudiantes que han de

comprender el aprendizaje como promotor del bienestar social y el respeto por la vida, la educación para la paz y la democracia, la atención a la diversidad sexual y religiosa, la identidad ancestral de los pueblos originarios, el compromiso con el medio ambiente, entre otros. Esta orientación formativa y promotora de sujetos competentes en ciencias no solo es relevante y necesaria, sino imprescindible, puesto que nos conduce al tema de equidad y calidad que, desde la óptica de la innovación científico-tecnológica, debería traducirse en ciencia y tecnología para todos y para todas. Señala que el desarrollo, como avance económico, social, político y cultural, debe significar y promover un legado humano de información permanente y continua, al servicio de estilos de vida inteligentes y garantes del talento y la creatividad para futuras generaciones de ciudadanos y ciudadanas comprometidos(as) con la consolidación de los valores democráticos, la justicia social y el desarrollo armónico de nuestros pueblos (Quintanilla, 2006). Me parece que la consolidación ciudadana de los valores democráticos en los diferentes niveles o interfases de los sistemas educativos está vinculada de manera natural con la producción, transferencia, impacto, divulgación y enseñanza del conocimiento científico con todas sus debilidades y fortalezas. Quien no comprenda y promueva convincentemente esta idea, se transforma en ciudadano de segunda clase o esclavo de la dependencia científico-tecnológica.

En definitiva, a partir de la denominada revolución científico-tecnológica, los desafíos se han incrementado paulatinamente, diversificándose los factores que están interviniendo en la equidad y calidad de la educación científico-tecnológica en América Latina. Más allá de los “fascinados o integrados” –en términos de Umberto Eco– por las nuevas tecnologías, interesa rescatar la influencia y valor que estas tienen en los procesos de configuración y reconfiguración de la realidad, en los procesos de producción y circulación masiva y diversa del conocimiento científico, y en los procesos cognitivos tanto en el aprendizaje de los estudiantes como en la propia formación docente. En ambos casos, se está reconociendo que este no es un dato menor ni despojado de relaciones de poder en la construcción de una nueva cultura docente y ciudadana, porque así como la ciencia no educa ni comunica por sí sola, tampoco se homogeniza y mucho menos se democratiza por el solo efecto casi mágico de la globalización, como bien lo señala Aníbal Ford:

...aunque cada pueblito tenga su antena parabólica, crece la diferencia entre inferricos e infopobres. ... Por el contrario, el control informático parece avanzar con más fuerza sobre los que vagan por el mundo. Y esto provoca una de las discusiones más fuertes de la cultura.

Lo cultural *acerca de y sobre la ciencia y la tecnología* emerge así como otro lugar de conflictos, pero también de constantes y necesarias búsquedas de identidad(es) y, en consecuencia, como un espacio en el que los educadores de la ciencia, en tanto comunicadores dinámicos del conocimiento tienen un aporte relevante que promover en la comunidad. O sea, nos referimos a un espacio al que estudiantes, profesores, científicos y profanos están convocados a aportar ideas, emociones, valores, lenguajes y al que no

pueden renunciar si pretenden consolidar la relevancia irreducible de la ciencia en el tejido social, político e histórico (Quintanilla, 2006a; Quintanilla et al., 2014).

1.2 La historia de la ciencia como campo metateórico y disciplinar

La historia de las ciencias como un campo de conocimiento específico y disciplinar metateórico se remonta al s. XVIII, en la Ilustración¹. En las últimas décadas ha despertado interés creciente en la comunidad de historiadores, sociólogos y científicos, y particularmente en los didactólogos de la ciencia, como un componente esencial y relevante para repensar la formación del profesorado de ciencias naturales tal y como lo hemos venido planteando en recientes publicaciones (Izquierdo et al., 2016). Así, se han incrementado sistemática y progresivamente las publicaciones en este ámbito, junto a la celebración de prestigiosos congresos y seminarios internacionales² en que se abordan diversos tópicos acerca de la finalidad de la historia de la ciencia en la enseñanza y en la formación de profesorado, así como 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. Resulta entonces que la comunidad internacional en didáctica de las ciencias promueve el valor y la relevancia social de la ciencia, en particular como investigación metateórica.

Insistimos en el carácter histórico de la ciencia, es decir, la idea de que el conocimiento está vivo, que la ciencia es dinámica y cambia de manera razonable ajustando marcos teóricos, instrumentos disponibles y perspectivas de innovación curricular. Toulmin (1977) nos señalaba hace ya cuatro décadas que la actividad científica es 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 conceptual o paradigmático natural, sistemático, continuo e irreversible, que puede ser comprendido a la luz de ciertos principios teóricos y caracterizado con criterios metodológicos específicos (Toulmin, 1977).

En lo que los sociólogos de la ciencia denominan la posmodernidad, la consolidación de las relaciones permanentes, sinérgicas e irrefutables entre filosofía e historia de la ciencia es lo que da origen a las teorías contemporáneas de la ciencia. En la década de 1990 se promovió la comprensión acerca de la construcción y profundización de una serie de *modelos de ciencia* en los cuales ya no interesaba solamente la justificación del conocimiento, sino que se hablaba también de *cómo* se descubre en ciencias. Ello en

¹ 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.

² El más importante quizás es el International History, Philosophy, Sociology Conference (IHPST) que se celebra cada tres años. En 2005, la sede del 8th IHPST fue la Universidad de Leeds, Inglaterra.

contraposición a las ideas modernas a propósito de que los filósofos de la ciencia pensaban 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 este campo problemático. Sabemos con demasiados argumentos a favor que no es así, puesto que los filósofos con ayuda de la historia de la ciencia comenzaron hace ya algunas décadas a promover el desarrollo de modelos de descubrimiento científico que son dinámicos, complejos y comprensivos (Barona, 1994; Chalmers, 1993).

En razón de lo anterior, la idea de *historicidad* de la ciencia, a propósito de su validación, valoración y legitimidad, admite siempre interpretaciones disonantes en la comunidad científica: algunas de ellas intentan explicar las transformaciones del conocimiento científico desde una mirada reduccionista (la *visión anacrónica*); otras pretenden generar modelos interpretativos que surgen de la valoración de la época y el contexto en que dicho conocimiento se socializó en una comunidad científica determinada (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). Identificar y caracterizar determinado tipo de fuentes (primarias y secundarias) e interpretarlas sin valorar el sentido que tienen (o tuvieron) en una determinada época, las expectativas socioculturales y los conflictos político-religiosos que condicionaron los descubrimientos e invenciones científicas, elementos todos que también forman parte del llamado dato histórico, contribuye a una interpretación restrictiva y reduccionista del proceso de construcción del conocimiento y la actividad científica que, para muchos investigadores, no sería la más adecuada para comprender el mundo a través de la educación científica (Matthews, 1994).

1.3 El contexto y relevancia de la HC en la formación del profesorado de ciencias naturales

Como lo he planteado en otras publicaciones y conferencias desde hace unas décadas, el impacto científico y tecnológico en nuestras vidas ha sido de tal magnitud que, de alguna manera, nos produce sensaciones disonantes de perplejidad, asombro, desconcierto, incertidumbre y nostalgia. La gran mayoría o un número altamente significativo de los beneficios de la ciencia y de la tecnología en diferentes ámbitos de nuestras vidas tales como la salud, alimentación, medioambiente, comunicaciones, entre otros, están desigualmente distribuidos. Esto se traduce en inequidad e injusticia entre países y dentro de ellos se conoce la existencia y permanencia de grupos excluidos del conocimiento científico y del uso de sus beneficios, exclusión por pertenencia a etnias, grupos sociales o geográficos tal y como lo señaláramos hace ya más de diez años. (Quintanilla, Romero, Salduondo, & Etchegaray, 2006). En este sentido, me parece, que la ciencia y la tecnología

deben responder hoy en día no solo a las necesidades de la sociedad para posibilitar mejorar las condiciones de vida de la mayoría de la población que vive en situaciones de pobreza extrema, sino que, además, los avances tecnocientíficos deben ser utilizados razonablemente por la ciudadanía y para que esto sea posible deben conocerlos, comprenderlos, valorarlos y darles un sentido y una finalidad por compartida colectivamente. Es decir, la educación científica ocupa un lugar clave para promover la calidad de vida y la participación ciudadana en los procesos de crecimiento y desarrollo sostenible así como en la promoción y desarrollo de pensamiento competencial que prepare para un futuro cada vez más incierto (Quintanilla, Macedo, & Katzkowicz, 2005; Quintanilla et al., 2012, 2014).

En esta perspectiva, los esfuerzos permanentes por abordar (y afrontar) de manera novedosa y teóricamente fundamentada los diferentes problemas específicos de la comunicación y educación de la nueva enseñanza de las ciencias naturales, requiere un comprender y aceptar diferentes ambientes, contextos y condiciones educativas que han sido decisivas en las últimas décadas en nuestros países. Estos esfuerzos han sido motivados principalmente por innovaciones prácticas o instrumentales que circulan alrededor del uso de los medios y las nuevas tecnologías en el trabajo escolar, así como su incidencia en la constitución de nuevos currículos de la ciencia, su enseñanza y aprendizaje en diferentes niveles educativos. Sin embargo, estos esfuerzos no han renovado la mirada epistemológica acerca de la naturaleza de la ciencia, sus métodos y lenguajes para abordarla y comunicarla apropiadamente, mejorando así su comprensión y propiciando competencias de pensamiento científico (Quintanilla et al., 2012, 2014). Pensar entonces una nueva comunicación y educación de las ciencias naturales es incursionar en un espacio de redes y nociones conceptuales, metodológicas y culturales acerca de prácticas pedagógicas diversas que se constituyen *racional y razonablemente* al interior de una determinada comunidad y cultura escolar.

Partimos del hecho de que el aprendizaje de las ciencias naturales tiene que ver con la trayectoria dinámica y la diferenciación permanente de las ideas en la propia historia de la ciencia y de los diferentes puntos de vista de los estudiantes frente al conocimiento científico; y también en la propia historia del sujeto que aprende a comprender la ciencia bajo ciertos supuestos epistemológicos que están implícitos (o explícitos) en el discurso del profesor con su propia historia. Estas investigaciones del campo *didactológico*³ concluyen que la transmisión y divulgación de la ciencia en las instituciones formales (escuelas, universidades) y no formales o informales (medios de comunicación masiva) no le dan relevancia a la reflexión acerca de la producción de conocimiento desde una mirada histórica, compleja e interesante para comprenderla y valorarla (Izquierdo et al., 2006; Gribbin, 2005). De esta manera, queda en evidencia que el profesorado de ciencias naturales y también un número significativo de divulgadores de la ciencia en los medios

³ Nos referimos en particular a la investigación en didáctica de las ciencias naturales.

de comunicación masiva transmiten sistemáticamente una imagen de la ciencia experimental como normativa y acabada, bastante alejada de los contextos culturales, sociales o políticos (e inclusive ideológico-filosóficos) en que científicos y científicas han contribuido al desarrollo sistemático, permanente y continuo del conocimiento en distintas épocas, distorsionando así, qué duda cabe, los modelos teóricos de la ciencia y su enseñanza (Solsona & Quintanilla, 2005).

Así, la historia y filosofía de las ciencias nos proporcionan recursos importantes para iniciar un diálogo desde la ciencia escolar, ofreciendo narraciones e historias que introducen a los estudiantes en una actividad científica llevada a cabo por personas “reales”, con sus propias motivaciones y expectativas; que vivieron situaciones políticas y sociales concretas que influyeron en su trabajo; y también para alimentarlo y ofrecerle modelos, puesto que la discusión y el convencimiento del oponente forma parte intrínseca de esa actividad científica (Bonet, 2005). Con estas ideas esclareceremos la historia de la ciencia que es necesaria y desafiante para la formación de profesores, pero consideramos que cuando esto se concrete en las acciones docentes reales del trabajo de aula fundamentadas en la historia de la ciencia es necesario hablar de un trabajo desde diferentes disciplinas que confluyen en torno a dicha acción. Por eso hablamos de multidisciplinariedad, ya que requieren la colaboración de los profesores de diferentes disciplinas (física, geología, biología, química, etc.) y, además, de la historia de la ciencia. Su coordinación pertenece a la didáctica de las ciencias, ya que potencia la creación de islotes de racionalidad, en el sentido en que las disciplinas “se ponen de acuerdo” en contenidos y procesos para generar mejores aprendizajes contextualizados educativamente (Izquierdo, García, Quintanilla, & Adúriz-Bravo, 2016).

Hacer decir y pensar las prácticas científicas escolares es proponer una apuesta intencionada de las relaciones teóricas que se tejen sistemáticamente entre ellas y en torno a ellas, con un sentido humano que no comienza ni termina en la sala de clases. No estamos hablando de procesos educativos ingenuos o espontáneos, dado que partimos de la base de que en ellos se configura de manera dinámica y cultural la vida de las personas y de los grupos sociales con alguna ideología determinada que le da sentido y valor a la práctica de aula (Quintanilla et al., 2006). Del mismo modo, en las últimas décadas, diversas investigaciones han dejado en evidencia que la perspectiva del análisis histórico acerca de la ciencia 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 (Quintanilla, Daza, & Cabrera, 2014). Hemos señalado en otras publicaciones que, al menos en Chile, desde la orientación de los modelos tradicionales de formación inicial y continua de profesorado de ciencias naturales, persiste la ausencia de reflexión epistemológica e histórica en los proyectos curriculares que sustentan la construcción de conocimiento profesional del profesorado (Labarrere & Quintanilla, 2006). En este contexto, cuando se emplea el término historia, es importante clarificar que en ningún

caso es posible la observación directa del pasado ni acceder por completo a lo que fue; tampoco se puede hacer por completo con lo que ocurre en nuestra propia época, ya que no existe una historia totalmente objetiva (Kragh, 1989). En la misma obra, Kragh habla de conjunto de datos “en bruto” al referirse a algo que conocemos imperfectamente y a partir de fuentes diversas, y que pueden ser combinadas de manera diferente según sea la interpretación teórica del pasado (Izquierdo, García, Quintanilla, & Adúriz-Bravo, 2016).

En muchos casos, científicos y profesores/as de ciencias naturales consideramos la ciencia como un conjunto de acontecimientos desconectados que refuerzan esta idea *ahistórica y dogmática*, es decir, transmitimos a nuestros estudiantes una ciencia reducida a los formalismos categóricos propios de la mirada neopositivista, neutral y determinista, la llamada cultura de los signos, de los símbolos y las fórmulas. Sin embargo, investigaciones rigurosas en la materia señalan que la ciencia es un proceso continuo de constitución de saberes eruditos con dimensiones históricas, sociales, políticas, económicas y culturales, es decir, es el producto de una actividad social que excede con mucho los actos individuales de descubrimiento o de creación de nuevas teorías más precisas y específicas (Crombie, 2000; Barona, 1994). Izquierdo (2000) planteó hace más de una década, 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 en la clase de ciencias. Con esta finalidad en mente, revisar la historia de los científicos y las científicas y de sus respectivas épocas no resulta para nada fácil si se quiere encontrar *sentido educativo* a la comprensión y valoración de la evolución del conocimiento y su auténtico protagonismo en la historia humana (Saffer & Quintanilla, 2004; Cabrera & Quintanilla, 2014).

Desde esta perspectiva, la historia de la ciencia alerta de manera interesante a los profesores sobre la necesidad de una aproximación fenomenológica de las representaciones, concepciones y creencias: los estudiantes necesitan saber *con qué y cómo* se relacionan los modelos teórico-conceptuales de la ciencia, y poder así confrontarlos con situaciones de su vida cotidiana, o mejor aún con situaciones de la vida real en otros momentos del desarrollo de la ciencia misma (García, 2003; Solar & Quintanilla, 2005). Haciendo uso de una analogía razonable, planteamos que la historia de la ciencia se convierte en un vehículo para colaborar en la formación inicial y continua del profesorado, 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 o realista pragmática de la ciencia (Quintanilla & García, 2005; Merino & Quintanilla, 2005).

Como lo hemos planteado en otros trabajos (Quintanilla, Izquierdo, & Adúriz-Bravo, 2005) en la actualidad, muchas escuelas de pensamiento, corrientes teóricas, investigadores/as y autores/as situados en las disciplinas de carácter metacientífico –como la epistemología, la historia de la ciencia, la sociología de la ciencia y la didactología de las ciencias naturales– comprenden la ciencia como una *actividad humana* de producción, evaluación,

aplicación y difusión de *saberes eruditos* inmersa en un contexto histórico, social, político 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, me parece que consolidan su valor educativo la *perspectiva sociológica* (Bourdieu, 2003; Hilgartner, 1990; Shapin & Barnes, 1977) la *perspectiva filosófica* (Bensaude-Vincent, 2000; Estany, 1993), la *perspectiva axiológica* (Echeverría, 2002) y la *perspectiva didáctico-epistemológica* (Izquierdo, 2000; Quintanilla et al., 2005) de la historia de la ciencia, su divulgación y enseñanza.

La investigación en didáctica de las ciencias tiene siempre un componente de innovación, puesto que la caracterizamos en su momento (Estany & Izquierdo-Aymerich, 2002) como ciencia que diseña actuaciones docentes que tienen impacto en la escuela y la transforman moderadamente. La investigación que se basa en la historia y filosofía de la ciencia tiene también esta característica; sus preguntas podrían resumirse en ¿cómo hacer para enseñar de manera que los alumnos aprendan lo que deben aprender? Las respuestas han de coincidir en un esquema general de actividad científica en la escuela (ACE). Recordemos que en la actividad científica escolar los contenidos a enseñar se estructuran en modelos teóricos, y sus finalidades tienen en cuenta los valores de la ciudadanía (Izquierdo et al., 2016).

Los didactólogos debemos consultar “buena historia” que corresponda a los acuerdos de la historiografía del momento, sin anacronismo ni hagiografía. Pero ¿es esto posible? Y si lo fuera, ¿nos conviene? Aquí es donde debemos introducir nuestros matices. Podría ocurrir que una HC que se refiera solo a un determinado momento histórico (según una correcta visión diacrónica de la Historia, Filosofía y Didáctica de las Ciencias: Aportes para la formación del profesorado de ciencias, Doctorado Interinstitucional en Educación, DIE 25 historia) no nos aporte nada interesante para la enseñanza de la ciencia actual; e incluso que no sea posible una H&F de la C totalmente objetiva (Izquierdo et al., 2016).

Según la mayoría de investigaciones en este campo de la didactología (Lires, Nuño, & Solsona, 2004), diversas han sido las causas que explicarían, en gran medida, el desconocimiento de la historia de la ciencia (HC) en la enseñanza y en la formación docente (FD). Entre ellas se destacan sistemáticamente:

- La ausencia de la historia de las ciencias (HC) en los contenidos de enseñanza de la formación inicial y permanente de científicos y profesores.
- La casi total inexistencia de la HC en los planes de enseñanza secundaria y en la mayor parte de los planes de formación universitarios de la mayoría (sino de todas) las carreras científicas.
 - La persistencia de una concepción dogmática, neopositivista, utilitarista e instrumental de la ciencia, paradigma dominante en los centros docentes y en la investigación en ciencias básicas y aplicadas.
 - El desinterés de profesores y científicos de asumir el análisis y la reflexión de los acontecimientos históricos como parte de la clase de ciencia y de la formación profesional,

favoreciendo la formalización y el tratamiento algorítmico de la inmensa mayoría de los contenidos científicos, aun en el caso de que sea imprescindible hacerlo.

- Escasas publicaciones en el área de historia de la ciencia y enseñanza, lo que dificulta el acceso a documentos y sistematizaciones de calidad en tópicos particulares en ámbitos específicos.
- Desprecio “espontáneo” de la historia de la ciencia, por la comunidad científica y educativa, que la perciben como “un conjunto de acontecimientos puntuales” desconectados de los contenidos “relevantes” que se “tienen que enseñar obligatoriamente”.

1.4 ¿Qué historia de la ciencia aprender y enseñar para promover una cultura ciudadana?

La historia de las ciencias nos muestra la diversidad de explicaciones que se dieron a fenómenos que nos parecen los mismos que nos interesan hoy: la combustión, las máquinas, la energía, la clasificación de las plantas, la identificación de enfermedades. Hoy día estas explicaciones pueden parecer falsas (de manera anacrónica), pero ya hemos visto que nos resultan útiles porque concuerdan con las explicaciones espontáneas de los alumnos o de las personas que nunca aprendieron ciencias. (Izquierdo et al., 2016). Así, me parece importante insistir en que es relevante valorar la incorporación de la historia de la ciencia en los procesos de formación inicial y continua de profesores y divulgadores (periodistas científicos, monitores de museos de ciencia, investigadores), puesto que permite relacionar el tejido teórico-conceptual que se constituye en un momento particular de la historia y el problema científico que se intenta solucionar con las teorías y los instrumentos disponibles en ese momento (Cabrera & Quintanilla, 2014). Esta idea de formación y enseñanza de las ciencias naturales desde una orientación de ciudadanía y valores, permite releer y comprender marcos teóricos diversos para interpretar fenómenos científicos que *hoy comprendemos bien* y que se explican mediante teorías vigentes, las que continúan evolucionando vertiginosamente. Además nos permite conocer la relación entre la ciencia y la cultura de una época específica, analizando de esta forma la influencia de estas en el desarrollo y consolidación de una sociedad determinada que comparte unos valores que se resignifican sistemáticamente (Baraona, 1994; Quintanilla, 2005; Solsona, 1997). Para dar una respuesta racional y razonable, además de consistente, en este sentido, la hipótesis que sustento es que es posible utilizar aspectos concretos de la historia de la ciencia de manera que se plantee el origen histórico de las principales líneas de investigación, se muestre el proceso de creación y desarrollo de los principales conceptos, sus teorías y metodologías, como fruto de un trabajo colectivo y de una construcción humana, en la que hay polémicas, tensiones y distensiones; y se analice así la complejidad de las relaciones ciencia-tecnología-sociedad- comunicación (CTSC) a lo largo de la historia, con las implicaciones de transformación de los procesos sociales y de convivencia que ello ha generado para la humanidad en general y para la comunidad científica en particular (Izquierdo et al., 2006).

En un sentido aún más complejo, me parece que el camino de la formación científica requiere necesariamente una argumentación epistemológica de ciencia y de didáctica de las ciencias conectada al análisis de los diversos factores que han condicionado, sino

determinado, las maneras en que se aprende a enseñar y a divulgar el conocimiento científico, en distintas épocas y culturas. Por tanto, si asumimos el carácter dinámico y cambiante del conocimiento, es evidente que la reflexión y análisis de estos cambios debiera estar integrada en la formación inicial y permanente del profesorado de ciencias naturales, puesto que favorece la comprensión de una *racionalidad moderada* acerca de la naturaleza de la ciencia, su método y objeto de estudio.

En esta perspectiva epistemológico-didáctica, la ciencia sería entonces *una actividad humana no neutral* que contribuye a la génesis, desarrollo y divulgación del conocimiento, basado en el fenómeno cognitivo humano. Por lo tanto, la interpretación, modelización y explicación de la ciencia escolar ha de contribuir a la convergencia de los conceptos que históricamente han estado en tensión: *el descubrimiento y la justificación del hecho científico* que ya hemos venido analizando en otras publicaciones (Quintanilla, 1999). Los teóricos cognoscitivos de la ciencia cuestionan la llamada filosofía clásica por configurar ideales de ciencia con los cuales los científicos no trabajan y, en consecuencia, con los que no se sienten identificados. Toman, así, distancia de la filosofía y de la sociología, intentando establecer una disciplina sin otra finalidad que no sea la de explicar la ciencia como construcción humana en permanente cambio (Giere, 1992)

Para las concepciones *realistas pragmáticas o naturalistas* de la ciencia, las teorías científicas describen e interpretan cómo es realmente el mundo. Esto significa que en el mundo hay cosas o entidades que se pueden caracterizar generalmente por sus propiedades específicas, estructura y función: sustancias, animales, vegetales, tipos de energía, etc., es decir, según este principio las teorías científicas son descripciones verdaderas de lo que pasa en el mundo real. Como insistiré en más de una ocasión, es una postura mucho más estimulante en el análisis e interpretación de los hechos y de las teorías científicas. Su principal dificultad es que dos teorías pueden dar explicaciones o interpretaciones equivalentes de un mismo fenómeno, provocando la duda de cuál de las dos interpretaciones realizadas es “más real”. En este sentido, Chalmers (1993) plantea lo que llama el *realismo no representativo*, asumiendo que las teorías científicas tienen determinadas finalidades y representan ciertos aspectos particulares del mundo y no otros. En consecuencia, al incorporar la historia de la ciencia en la enseñanza y la divulgación, debiéramos entender que en el desarrollo del conocimiento no siempre se valoró a la ciencia de la misma manera como la valoramos ahora y con las mismas intenciones y finalidades (Quintanilla, 2006).

1.5 Introducir la historia de la ciencia en la formación de profesores de ciencias naturales. Un modelo desde la investigación didáctica

En una reciente publicación (Izquierdo et al., 2016) hemos señalado que no son muchas las propuestas que utilizan la historia de la ciencia como elemento central de la formación docente. Una propuesta que nos parece prometedora para la formación del profesorado de ciencias naturales debe facilitar una mirada amplia que abarca tanto los conocimientos científicos como su historia para enseñar mejor las ciencias a los jóvenes que serán los ciudadanos del mañana. Diseñamos una propuesta de formación inicial de profesores que tiene en cuenta estas consideraciones, denominado ciclo teórico empírico (CTE) o Modelo Carrusel, según un proceso en diez etapas cada una de ellas con sus propios materiales docentes que se describen a continuación:

1. Identificar los dos ejes de formación científica: saber ciencia y saber qué es la ciencia. La historia aporta elementos para pensar sobre la ciencia e identificar modelos de emergencia de los contenidos.
2. Identificar y caracterizar los componentes del conocimiento profesional del profesorado de ciencias. El profesor trabaja para la educación de su alumnado y, al presentar problemas científicos en clase, debe hacerlo según tres planos el instrumental-operativo, el personal-significativo y el relacional-cultural.
3. Caracterizar el conocimiento de ciencias que ha de tener un profesor desde la perspectiva de tener que enseñarla. Los dos puntos anteriores ya han obligado a una reflexión sobre los conocimientos científicos en el aula. El nuevo paso es aceptar que lo fundamental de esta ciencia es enseñar a pensar con teorías (científicas, didácticas, históricas).
4. Identificar la historia de la ciencia que es valiosa para la formación del profesorado de ciencias. Para facilitar esta visión teórica, es importante valorar el aporte de las narraciones en las que se presenten temas que hagan pensar de manera crítica a los estudiantes.
5. Procurar que se expliciten los modelos de ciencias del profesorado de ciencias. El resultado de este primer “bucle” de formación debería ser poner en crisis las representaciones de los futuros profesores y profesoras sobre las ciencias, para aceptar una mayor complejidad al caracterizar las teorías, el método, el lenguaje y los instrumentos.
6. Definir y organizar la secuencia de los contenidos. A partir de esta crisis, se han de diseñar tres núcleos de formación histórica, didáctica y científica, de manera que sean coherentes entre sí cada uno de ellos.

7. Identificar contribuciones históricas que son especialmente relevantes para la formación del profesorado. A partir de ahora se inicia un nuevo bucle formativo, en el que debería pedirse mayor implicación del profesorado en formación en la búsqueda de contribuciones que les parezcan especialmente relevantes porque ayudan a comprender las circunstancias en la producción de conocimiento.
8. Identificar ejemplos paradigmáticos de historia de la ciencia, su transposición y su evaluación. Conviene ahora identificar ejemplos paradigmáticos de historia de las ciencias, haciendo ver sus consecuencias para comprender la naturaleza de las ciencias, sus métodos y sus instrumentos de investigación.
9. Pensar de manera metacognitiva sobre la organización de la historia de la ciencia al enseñar ciencias. Se invita a los estudiantes a evaluar los episodios históricos rehuyendo una retórica meramente triunfalista y teniendo en cuenta su valor para la educación científica con retos intelectuales valiosos.
10. Reorganizar el currículo de ciencias a partir de las contribuciones de la historia de la ciencia. Creemos que el futuro profesor que se haya formado en historia de la ciencia habrá comprendido que los caminos que conducen a la emergencia del conocimiento científico son muy complejos y podrá planificar las clases (especialmente, las clases prácticas) de manera menos ingenua, dando más importancia al discurso en el aula.

Aclaremos que en

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

1.6 Conclusiones

En definitiva, la educación científica y tecnológica actual ya no puede tener como referente curricular la imagen de ciencia y de enseñanza de las ciencias restrictivo-determinista que se fue configurando desde la sociedad industrial europea a fines del siglo XVIII, vinculada al control social de las clases dominantes tal como lo plantean algunos historiadores de la ciencia a propósito de la enseñanza tecnocientífica en la

Inglaterra victoriana del siglo XIX (Shapin & Barnes, 1977). Resulta imprescindible que los profesores de ciencias naturales comprendan y asuman las nuevas categorías teóricas y praxiológicas derivadas de una concepción de ciencia y de enseñanza de las ciencias generada y consolidada en la llamada *sociedad del conocimiento*. En este ámbito de una nueva cultura docente de la educación científica habría que decir que la transferencia de conocimiento en el aula debe superar las opciones reduccionistas y dogmáticas de los modelos de formación inicial y continua del profesorado y del aprendizaje de las ciencias naturales para promover el desarrollo de competencias y habilidades cognitivo lingüísticas en los estudiantes; facilitando así la integración cultural, el desarrollo del pensamiento creador y de unos ciudadanos comprometidos con el complejo tejido social y el dinámico engranaje del crecimiento económico, como también la promoción y consolidación de los valores democráticos en nuestros países.

En este capítulo quise desarrollar dos ideas fundamentales. En primer lugar orientar algunas reflexiones teóricas acerca de la ciencia construida y de la ciencia enseñada, es decir, el fenómeno histórico y epistemológico recogido por la didactología y su ámbito de conocimiento e investigación vinculada a la historia de la ciencia y la formación del profesorado. La otra idea que pretendí compartir fue establecer las tendencias actuales en relación con los aportes que la historia de la ciencia puede hacer a la formación del profesorado científico, el currículo, el conocimiento escolar y la formación ciudadana. El norte de mis reflexiones fue proporcionar algunos elementos de análisis que permitan comprender la situación actual de la historia de la ciencia como una *metaciencia* que refiere un campo de conocimiento y de investigación específica en la formación del profesorado, particularmente en la educación científica.

Actualmente estamos trabajando en el diseño de cursos completos de formación docente centrados en los aportes de las metaciencias a la enseñanza de las ciencias naturales y en la elaboración de materiales prácticos para incorporar temas de epistemología e historia de la ciencia en la formación inicial y continuada del profesorado desde una perspectiva de ciencia, ciudadanía y valores (Quintanilla, Macedo, & Katzkowicz, 2005). Al mismo tiempo, continuamos trabajando en la formulación de modelos teóricos para fundamentar estas propuestas de innovación formadora. Muchos de nuestros materiales ya han sido publicados y se están utilizando en nuestros países, aunque a escala más bien restringida. En diferentes eventos científicos hemos ampliado mediante ejemplos concretos avances de la propuesta aquí presentada, retomando trabajos adelantados y puestos en ejecución en Chile, Argentina, Colombia y España (Quintanilla, Adúriz-Bravo, & Izquierdo, 2005; Quintanilla, 2005; García, 2003; Quintanilla & García, 2005; Solsona & Quintanilla, 2005; Quintanilla et al., 2005; Solsona, Quintanilla, & Cuellar, 2016). Al respecto hay un camino

fértil que recién se comienza a recorrer. Pienso que una prioridad en este sentido es profundizar en el desarrollo del modelo teórico-metodológico para incorporar la historia de la ciencia en una formación docente que enfatice los elementos anteriormente analizados con una *teoría didáctica de los contenidos científicos escolares*, y una epistemología naturalizada tal y cual lo he planteado en este artículo. En esta área de análisis me encuentro trabajando hoy en día y será el contenido de una próxima publicación.

Agradecimientos

Al proyecto REDES 150107 y al proyecto AKA EDU /03 desde donde algunas de estas ideas han reforzado la necesidad de una nueva cultura docente del profesorado de primaria y secundaria en el ámbito de las ciencias naturales.

Referencias

- Álvarez, M., Nuño, T., & Solsona, N. (2004). *Las científicas y su historia en el aula*. Madrid, España: Síntesis.
- Álvarez L. M., Quintanilla, M., Pérez, U., & Solsona, N. (2005). *Educación en los Derechos Humanos a través de la historia de la ciencia: una experiencia de innovación en la enseñanza secundaria*. Actas del Congreso Sin ciencia no hay cultura, A. Coruña, Galicia, España.
- Barona, L. (1994). *Ciencia e Historia. Debates y tendencias en historiografía de la ciencia*. Godella, España: Seminari d'Estudis sobre la Ciència.
- 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. À chacun son ignorance*. Paris, France: Éd. La Découverte.
- Bourdieu, P. (2003). *El Oficio del Científico*. Barcelona, España: Anagrama.
- Camacho, J. (2005). *Ley periódica. Una reflexión didáctica desde la historia de la ciencia* (Tesis de maestría). Universidad Pedagógica Nacional de Bogotá, Colombia.
- Chalmers, A. F. (1993). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* Madrid, España: Siglo 21 Eds.
- Copello, M. I. (1995). *La interacción maestra-alumnado en el aula: dilemas sobre acciones favorecedoras del acercamiento entre los significados en relación a contenidos de ciencias naturales* (Tesis de maestría). Universitat Autònoma de Barcelona, España.
- Crombie, A. C. (2000). *Historia de la Ciencia: De San Agustín a Galileo/ 1 Siglos V-XIII*. Madrid, España: Alianza Editorial.
- Cuellar, L., Pérez, R., & Quintanilla, M. (2005). *La propuesta de Ernest Rutherford en los libros de texto en Colombia: Un análisis desde la historia de las ciencias y la visión de transposición didáctica en ellos*. Actas del VII Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias, Granada, España.

- Etcheverría, J. (2002). *Ciencia y valores*. Barcelona, España: Ed. Destino.
- Estany, A. (1993). *Introducción a la filosofía de la ciencia*. Barcelona, España: Crítica.
- Ford, A. (1996, 28 de julio). Paradoja de la aldea global. *Diario Clarín*.
- García, A. (2003). *Aportes del estudio histórico de instrumentos científicos a la formación del profesorado de ciencias* (Tesis de maestría). Universitat Autònoma de Barcelona, España.
- Giere, R. (1992). What the cognitive study of science is not. *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, 15, 481-484.
- Giere, R. (1994). The cognitive structure of scientific theories. *Philosophy of Science*, 61, 276-296.
- Gribbin, J. (2005). *Historia de la Ciencia*. Barcelona, España: Crítica.
- Hackmann, W. (1985). Instrumentation in the theory and practice of science: scientific instruments as evidence and as an aid to discovery. *Annali dell' Istituto e museo di Storia della Scienza di Firenze*, 10, 87-115.
- Izquierdo, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En F. J. Perales & P. Canal (Eds.), *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (pp. 35-64). Alcoy, España: Marfil.
- Izquierdo, M. (1994). *Algunes reflexions sobre el llenguatge simbòlic químic. "El somni de Lavoisier"*, XII Jornadas de Historia y Filosofía de la Ciencia, Vigo, España.
- Izquierdo, M. (1995). *La función de las fórmulas en la formación y divulgación del conocimiento científico*. XIII Jornadas de Historia y Filosofía de la Ciencia, Vigo, España.
- Izquierdo, M., Valverdú, I., Quintanilla, M., & Merino, C. (2006). Relación entre la historia y la filosofía de la ciencia. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 48, 78-91.
- Izquierdo, M., Martínez, A., Quintanilla, M., & Adúriz-Bravo, A. (2016). *Historia, filosofía y didáctica de las ciencias. Aportes para la formación del profesorado de ciencias*. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Kragh, H. (1989). *Introducción a la historia de la ciencia*. Barcelona, España: Crítica.
- Labarrere A. & Quintanilla, M. (2006). La evaluación de los profesores de ciencias desde la profesionalidad emergente. En M. Quintanilla & A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y propuestas* (pp. 257-278). Santiago, Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Matthews, M. (1994). *Science teaching. The role of history and philosophy of science*. Nueva York, NY: Routledge.
- 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.
- Quintanilla, M. (2006a). *Educación científica de calidad hoy, ciudadanía para el mañana*. Actas del IV Congreso Internacional de Didáctica de las Ciencias, La Habana, Cuba.
- Quintanilla, M. (2006b). Identificación, caracterización y evaluación de competencias científicas desde una imagen naturalizada de la ciencia. En M. Quintanilla & A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y propuestas* (pp. 17-42). Santiago, Chile: Ediciones Universidad Católica 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. (1999). El dilema epistemológico y didáctico del currículum de la enseñanza de las ciencias: ¿Cómo abordarlo en un enfoque CTS? *Rev. Pensamiento Educativo*, 25, 299-334.

- Quintanilla, M. & García, A. (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, U. Autónoma de México, D. F., México.
- 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., Macedo, B., & Katzkowicz, R. (2005). *La educación de los derechos humanos desde la perspectiva de ciencia, ciudadanía y valores*. Actas del VII Congreso Internacional de Didáctica de las Ciencias, Granada, España.
- Quintanilla, M., Romero, M., Salduondo, J., & Etchegaray, F. (2006). *Innovación científica y tecnológica en un mundo global: ciudadanía y valores para una nueva cultura docente*. Actas del 33° Congreso Mundial de Escuelas de Trabajo Social, Santiago, Chile.
- 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, Guatemala.
- Shapin, S. & Barnes, B. (1977). Science, nature and control: interpreting Mechanics Institutes. *Social Studies of Science*, 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 Història de Ciència i l'Ensenyament, Societat Catalan d'Història de la Ciència, Barcelona, España.
- Solsona, N. & Quintanilla, M. (2005). *Reflexions i propostes per al debat educatiu – diàctic entorn a la història de la ciència*. Actas de las II Jornada sobre la Història de Ciència i l'Ensenyament, Societat Catalan d'Història de la Ciència, Barcelona, España.
- Solsona, N. (1997). *Mujeres científicas de todos los tiempos*. Barcelona, España: Ed. Talasa.
- Toulmin, S. (1977). *La comprensión humana*. Madrid, España: Alianza Editorial.
- 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.

CAPÍTULO 2

Darwin y los naturalistas del Plata: una propuesta para la utilización de la historia y la sociología de la ciencia en la enseñanza de la teoría de la evolución

Leonardo González Galli
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad de Buenos Aires
leomgalli@gmail.com

Contenidos

Resumen

2.1 Introducción

2.2 La historia de la ciencia en la enseñanza

2.3 La sociología de la ciencia en la enseñanza

2.4 Primer Caso: William Hudson y Charles Darwin

2.5 Segundo caso: Francisco Muñiz y Charles Darwin

2.6 ¿Por qué utilizar los casos de Hudson y Darwin y Muñiz y Darwin en la enseñanza?

2.7 Conclusiones

Referencias

Darwin y los naturalistas del Plata: una propuesta para la utilización de la historia y la sociología de la ciencia en la enseñanza de la teoría de la evolución

Resumen

En este capítulo se presentan dos casos históricos que vinculan directamente a Charles Darwin con dos naturalistas del Plata. Uno de estos casos se relaciona con el debate público que el naturalista argentino William Henry Hudson mantuvo con Darwin sobre la adaptación del pájaro carpintero de las pampas. El otro se refiere al intercambio privado entre el médico y paleontólogo argentino Francisco Javier Muñiz y Darwin sobre un felino fósil hallado por el primero, y sobre una curiosa raza de vacas que interesaba al segundo. Sobre ambos casos se proponen algunos análisis metacientíficos y, especialmente, una discusión sobre aspectos sociológicos relacionados con la cuestión ciencia y periferia. Se ponen en evidencia así la influencia de la nacionalidad y las asimetrías geopolíticas que atraviesan la actividad científica a fines del siglo XIX. Se sugieren algunas preguntas que sirvan de base para el uso de estos casos en la enseñanza de la biología evolutiva en los años superiores de la enseñanza media y en la formación del profesorado de biología. Los problemas que surgen permiten abordar cuestiones conceptuales en relación con el modelo de evolución por selección natural, y cuestiones metacientíficas. La propuesta pretende evidenciar la importancia de los análisis sociológicos en el marco de la llamada naturaleza de la ciencia, y también la necesidad de una mirada regional, latinoamericana, de estos temas en la enseñanza.

2.1 Introducción

Existe un amplio consenso sobre la importancia de que los y las estudiantes aprendan los modelos básicos de la biología evolutiva⁴ en la enseñanza general obligatoria. Por un lado, la teoría de la evolución es transversal a todas las disciplinas biológicas debido a que todos los sistemas y procesos estudiados por dichas disciplinas son producto de una historia evolutiva. Así, la comprensión de un fenómeno biológico requiere no solo la elucidación de sus causas próximas (mecanicísticas, objeto de estudio de la fisiología, genética y demás áreas de la biología funcional), sino también de sus causas últimas (histórico-evolutivas, objeto de la biología evolutiva) (Mayr, 1998). Por otro lado, la teoría de la evolución, y muy especialmente el modelo de evolución por selección natural (MESN), tiene implicancias mucho más allá del dominio estrictamente biológico, por ejemplo, en áreas tan relevantes y disímiles como la ética y la epistemología (Ruse, 1994; Stamos, 2009). Por tal motivo, el dominio de estos contenidos es condición para una comprensión profunda de tópicos de gran relevancia social tales como la eugenesia y el concepto de raza. Sin embargo, numerosos estudios muestran que quienes egresan de los sistemas de

⁴Los análisis propuestos en este trabajo giran en torno del modelo de evolución por selección natural. Somos conscientes de que actualmente existen muchos otros modelos en la biología evolutiva (equilibrios puntuados, “evo-devo”, etc.), pero consideramos que el modelo darwiniano constituye aún hoy, y a pesar de los debates existentes al respecto, el fundamento principal de esta disciplina (González Galli & Meinardi, 2013).

enseñanza general obligatoria en muchos países lo hacen sin haber aprendido siquiera los rudimentos de la biología evolutiva (Rosengren, Brem, Evans, & Sinatra, 2012).

Esta situación ha llevado a revisar los modos de enseñanza de la teoría de la evolución y a proponer estrategias innovadoras basadas en la investigación. Una de las razones que se han identificado como causales de los malos resultados en términos de aprendizaje es que la enseñanza tradicional es muy cuestionable en relación con la imagen de ciencia y de científico que transmite (Rudolph & Stewart, 1998). Así, muchas propuestas innovadoras para la enseñanza de la teoría de la evolución se basan en conceptos desarrollados en el marco de una de las áreas actuales de investigación en didáctica de las ciencias naturales denominada naturaleza de la ciencia, NOS, según sus siglas en inglés (Coleman, Stears, & Dempster, 2015; Narguizian, 2012; Pennock, 2016; Rudolph & Stewart, 1998; Working Group on Teaching Evolution [WGTE], 1998). De acuerdo con Adúriz-Bravo (2005) la NOS constituye “un conjunto de ideas metacientíficas con valor para la enseñanza de las ciencias naturales”. Se asume que la enseñanza de la ciencia requiere cuestionarse acerca de qué es la ciencia y valorar las posibles respuestas a partir de una reflexión teóricamente fundamentada. Dentro de la NOS Adúriz-Bravo distingue tres ejes: el *eje epistemológico* (relacionado con qué es la ciencia y cómo se construye), el *eje histórico* (que busca analizar cómo cambia la ciencia en el tiempo), y el *eje sociológico* (interesado por la cuestión de cómo se relaciona la ciencia con la sociedad y la cultura). Estos diversos ejes de análisis se relacionan y solapan parcialmente. Por ejemplo, el análisis histórico se muestra limitado sin el auxilio de la epistemología y esta aparece como “hueca” sin el contraste con la historia.

La enseñanza tradicional de las ciencias naturales (incluido el caso de la teoría de la evolución), al igual que las demás instancias de comunicación científica, suele transmitir una imagen de ciencia y de científico que resulta imprescindible analizar críticamente y cuestionar al menos por dos razones. En primer lugar, porque se trata de una imagen no avalada por las actuales metaciencias (epistemología, historia de la ciencia, sociología de la ciencia, etc.). En segundo lugar, porque se trata de una imagen que no es política e ideológicamente neutra. Por ejemplo, la imagen individualista y elitista que transmite sobre los científicos tiende a excluir a muchas personas que difícilmente se identifiquen con semejantes estereotipos de científico. Fernández, Gil, Carrascosa, Cachapuz, & Praia (2002) resumen los aspectos cuestionables de esta imagen de ciencia y de científico, ampliamente difundida, señalando un conjunto de deformaciones implícitas en dicha imagen. De acuerdo con este análisis, la concepción de ciencia que la enseñanza tradicional tiende a transmitir sería “empírico-inductivista y ateorica” (se enfatiza la observación objetiva y se ignora el rol de la teoría); “rígida” (se asume que existe un método científico, lineal y algorítmico); “aprobemática y ahistórica” (se ignoran los problemas y contextos sociohistóricos que motivaron las investigaciones); “exclusivamente analítica” (se ignora la importancia de los procesos de síntesis teórica); “meramente acumulativa” (no se hace referencia a momentos de ruptura en la historia de la ciencia); “individualista y elitista” (se presenta un estereotipo de científico como un genio solitario y perteneciente a un reducido grupo social, frecuentemente se trata de

varones europeos de clases acomodadas); y “descontextualizada y socialmente neutra” (se ocultan las relaciones entre la ciencia y los demás factores sociales, y se asume que la actividad y el conocimiento científicos son éticamente neutrales, “no son ni buenos ni malos”, restringiendo el análisis ético a la posterior aplicación del conocimiento por parte de otros actores sociales).

En este trabajo presentamos dos episodios de la historia del darwinismo y sugerimos algunos análisis que, creemos, pueden potenciar tanto el aprendizaje de los modelos de la biología evolutiva como la construcción, por parte de los estudiantes, de modelos de ciencia y de científico más adecuados. Si bien sugerimos algunos análisis desde la propia teoría de la evolución, nos centramos en un enfoque metacientífico que puede servir de fundamento para el diseño de actividades de enseñanza orientadas a los años superiores de la escuela secundaria y al profesorado de biología. En general, el foco de los trabajos que vinculan la enseñanza de la teoría de la evolución con la NOS está en el problema de la aceptación (o el rechazo) de la teoría de la evolución y su relación con cuestiones tales como la naturaleza de las evidencias y el criterio de demarcación, todo esto en relación con el problema del autodenominado “creacionismo científico” y su más reciente versión la “teoría del diseño inteligente”. Aquí, por el contrario, abordaremos otros tópicos menos explorados y pretendemos, además, apartarnos un poco de los enfoques dominantes en el ámbito de la enseñanza para proponer una mirada desde Latinoamérica de la historia del evolucionismo. Aunque los dos casos históricos que seleccionamos admiten diversos análisis desde los tres ejes de la naturaleza de la ciencia mencionados, la propuesta que presentamos se centra en cuestiones históricas y sociológicas.

2.2 La historia de la ciencia en la enseñanza

Dado el panorama descrito en relación con la imagen de ciencia imperante en la enseñanza, surge la hipótesis de que la inclusión de la HC –y otras metaciencias– en la enseñanza podría ser de gran utilidad para ayudar a los estudiantes a construir una imagen de ciencia y de científico más compleja y acorde con las metaciencias actuales (Allchin, 2013). No sería esta la única virtud de este enfoque. Por ejemplo, Allchin (2013) sugiere que la HC podría ayudar a contextualizar y hacer más motivadora la ciencia, clarificar conceptos, revelar concepciones erróneas, celebrar los logros científicos, promover la elección de carreras científicas, desarrollar las capacidades de indagación y – en relación con nuestro tema– caracterizar la naturaleza de la ciencia.

La introducción de contenidos de HC en la enseñanza tiene ya una larga tradición. De hecho, la existencia misma de la ciencia como actividad social depende de que existan instancias de enseñanza que permitan la formación de nuevos científicos y científicas (Echeverría, 1998); y en dichas instancias siempre se recurrió a la historia para ejemplificar en qué consiste ser un buen científico. El problema radica en que las narraciones históricas introducidas a tal fin (y que se reproducen con pocas variaciones en todos los niveles educativos) suelen apuntalar la imagen de ciencia y de científico tradicional más que cuestionarla. En general, estas HC fueron escritas por científicos de las respectivas

disciplinas (y no por historiadores de la ciencia profesionales); son narraciones hagiográficas, idealizaciones tendientes a legitimar la disciplina. Tal como señala Allchin (2013): “Incluso educadores experimentados pueden introducir supuestos sobre la naturaleza de la ciencia en la historia, sesgando sus interpretaciones. En algunos casos, el educador ingenuo puede reescribir la historia inconscientemente, subvirtiendo, de ese modo, las enseñanzas sobre la naturaleza de la ciencia deseadas”⁵. Los peligros son muchos. Se corre el riesgo, por ejemplo, de presentar una HC completamente anacrónica en la que los hechos del pasado se interpretan y juzgan enteramente desde la perspectiva actual, de caer en las ya mencionadas historias hagiográficas (Izquierdo, Quintanilla, Vallverdú, & Merino, 2014) o de abonar la idea de un proceso lineal, sin controversias, y progresivo de acumulación de conocimiento (Fernández et al., 2002). Así, será necesario que, tanto investigadores en didáctica de la ciencia como educadores, nos preguntemos qué HC introducir en la enseñanza (Allchin, 2013) si el objetivo es favorecer la construcción de una ICC más compleja y adecuada.

Una característica de la HC que tradicionalmente se presenta en la enseñanza, perpetuada por los libros de texto, es que se centra en grandes figuras de Europa o de los Estados Unidos de América (EUA). En parte, no se puede acusar a los autores de incurrir en un sesgo injustificado en relación con esta sobrerrepresentación de científicos extranjeros, ya que, por motivos más bien evidentes, es en esos países donde se produjeron los principales hitos de la historia de la ciencia. Sin embargo, en algún sentido, sí podemos cuestionar dicho sesgo porque también es cierto que en los países latinoamericanos se han hecho grandes aportes a la ciencia. Por ejemplo, Chamizo (2014) menciona los casos de Bernardo Houssay (argentino, premio Nobel de Medicina en 1947 por sus aportes clave para la comprensión del rol de la glándula hipófisis en el metabolismo de los hidratos de carbono, tema relacionado con la diabetes), Luis Leloir (argentino, premio Nobel de Química en 1970 por sus aportes sobre a la comprensión del metabolismo de la glucosa) y Mario Molina (mexicano, premio Nobel de química en 1995 por sus contribuciones a la comprensión de la relación entre los compuestos de cloro y el deterioro de la capa de ozono). A estos podríamos agregar otros casos como el de César Milstein (argentino, premio Nobel de Medicina en 1984 por el desarrollo de los anticuerpos monoclonales).

En el campo de la biología evolutiva también podríamos hablar de grandes científicos latinoamericanos que realizaron aportes importantes. Tal es el caso, en Argentina, de Osvaldo Reig (Mellender de Araújo, 2010) y de Florentino Ameghino (Casinos, 2012). Sin embargo, en esta disciplina, los aportes de Reig y otro(a)s grandes científico(a)s locales tuvieron escaso impacto en la comunidad científica internacional: a diferencia de los casos de Houssay, Leloir o Milstein, sus nombres no se encuentran en los libros de texto anglosajones más utilizados internacionalmente. Por otro lado, sería poco justificable ignorar los aportes de lo(a)s científico(a)s extranjeros y tratar solo los aportes de

⁵“Even experienced educators can bring assumptions about NOS to history, biasing their interpretations. In some cases, the naïve educator can unwittingly rewrite history, thereby subverting the desired NOS lessons”.

científicos regionales en una suerte de chauvinismo historiográfico que supondría una distorsión análoga a aquella que supone ignorar lo regional. Proponemos que –sin negar el gran valor de tratar casos de científicos regionales cuando sea conveniente– es posible tratar la historia de la disciplina (la biología evolutiva en nuestro caso) a partir del impacto, pero también reformulación y redefinición, de las grandes teorías en nuestros países. Por otro lado, además de tratar casos de grandes aportes de científicos locales a la ciencia internacional podemos analizar las relaciones entre los científicos de los países centrales y sus teorías con nuestras sociedades latinoamericanas. En esta línea, en las siguientes secciones presentaremos brevemente dos episodios históricos que relacionan directamente a Darwin con dos naturalistas del Plata (William Henry Hudson y Francisco Javier Muñiz), para luego realizar algunos análisis de los mismos desde la perspectiva de la biología evolutiva y de la naturaleza de la ciencia que creemos valiosos para la enseñanza. La propuesta es entonces hablar de Darwin –sería injustificable abordar la historia del evolucionismo sin mencionarlo–, pero desde su interacción con naturalistas locales del siglo XIX y comienzos del XX.

2.3 La sociología de la ciencia en la enseñanza

Aunque hay un fuerte consenso sobre la utilidad de incorporar conceptos de NOS en propuestas para la enseñanza de la biología evolutiva (WGTE, 1998) dichas propuestas en general suponen el recurso a conceptos de la HC y la epistemología. Por el contrario, son escasos los intentos de incorporar aportes de la sociología de la ciencia. Sin embargo, el potencial positivo de introducir elementos de sociología de la ciencia en la enseñanza es grande. Por ejemplo, puede ayudar a cuestionar la imagen “empírico-positivista e idealizada” de ciencia (Castorina, 2008; Joshua y Dupin, 2005; Mackenzie, Good, & Brown, 2014). Es también muy útil para generar conciencia sobre los límites de la ciencia y prevenir los abusos de la autoridad científica (Allchin, 2013). Los análisis sociológicos pueden, en suma, ayudar a cuestionar muchas de las imágenes deformadas de ciencia que mencionamos antes.

La introducción de conceptos de la sociología de la ciencia en la enseñanza requiere, sin embargo, algunas advertencias preliminares. En particular, es necesario tener presente que algunas de las principales corrientes de dicha disciplina (entre ellas la derivada de los aportes de Bruno Latour que tomaremos más adelante como marco para algunos análisis) suponen un *constructivismo social* radical (las teorías científicas, como todas las demás perspectivas del mundo, son construcciones sociales y, por lo tanto, su validez es siempre contextual) que implica generalmente un *relativismo epistemológico* (todos los discursos sobre el mundo tienen el mismo valor y legitimidad) (Castorina, 2008). Esta sociología se enfoca en el análisis del discurso, en los aspectos retóricos de la ciencia, minimizando algunas cuestiones de gran valor para la enseñanza de la ciencia como por ejemplo la importancia de las evidencias empíricas en la evaluación de las teorías. Así, para Latour, lo importante en la ciencia son las “relaciones de fuerza” y no “de razón” (Castorina, 2008); se niega de esa forma toda racionalidad en la ciencia. Como señala Allchin (2013), el riesgo es reducir la ciencia a la política. El problema desde el punto de vista didáctico es que, más

allá de que estas tesis sociológicas sean materia opinable en el terreno sociológico y epistemológico, no constituyen un fundamento adecuado para la educación en ciencias dado el relativismo epistemológico que suponen (Castorina, 2008; Fourez, 2008; Joshua y Dupin, 2005; Slezak, 2014, 1994a, 1994b). Sin embargo, reconocer que el conocimiento científico es una construcción social no implica que dicho conocimiento sea irracional o totalmente relativo (Allchin, 2013) o, como señala Fourez (1998), “La relatividad de los saberes no implica relativismo”. Sin embargo, el o la docente deberá tener un alto grado de conciencia sobre los problemas conceptuales que implican estos análisis para evitar resultados no deseados. En particular, existe el riesgo de que los estudiantes concluyan que el conocimiento científico no tiene relación alguna con las evidencias y la racionalidad y que es meramente el resultado de pugnas políticas resueltas a fuerza de destreza retórica y otros factores no racionales. Creemos, sin embargo, que las virtudes potenciales de proponer análisis sociológicos superan los riesgos e intentaremos ilustrar esta perspectiva en las siguientes secciones. Más en particular, propondremos abordar el tópico de sociología de la ciencia denominado “ciencia y periferia” (Kreimer, 2010, 2000). Pero antes, debemos presentar los casos históricos que vinculan a dos naturalistas de la región del Plata con Charles Darwin.

2.4 Primer Caso: William Hudson y Charles Darwin

William Henry Hudson (1841-1922), argentino hijo de padre y madre estadounidenses (Jurado, 2007), fue un reconocido naturalista cuyas minuciosas descripciones de la fauna y flora de las llanuras pampeanas y de la estepa patagónica (véase, por ejemplo, Hudson, 2010) constituyen una referencia central para historia natural de la región de fines del siglo XIX. Hudson nunca perteneció a institución científica alguna ni recibió instrucción formal en ciencias naturales (Novoa & Levine, 2010). Sin embargo, a los veinticuatro años comenzó su contacto con el mundo académico, más específicamente, con los ornitólogos Spencer Fullerton Baird y Phillippe Lutley Scatler del Instituto Smithsonian de Washington DC. Germán Burmeister⁶, entonces, director del Museo de Ciencias Naturales de Buenos Aires, hizo de nexo entre Hudson y el Smithsonian (Novoa & Levine, 2010). Esta relación comenzó con el envío de ejemplares embalsamados⁷; luego, entre 1869 y 1870, incluyó también la remisión de escritos sobre las costumbres de las aves del Plata por parte de Hudson. Dichos textos fueron revisados por Scatler y publicados en los *Proceedings of the Zoological Society of London*. En 1874 Hudson viajó y se instaló en Inglaterra, país en el que permanecería hasta su muerte en 1922 (Jurado, 2007).

De acuerdo con Montserrat (2012), Hudson fue el primer lector de *El Origen de las Especies* (Darwin, 2009) en la República Argentina. La lectura del libro de Darwin tuvo un profundo impacto en Hudson, probablemente por el conflicto que experimentó entre su visión romántica de una naturaleza armónica y perfectamente diseñada y la descrita por Darwin, ese mundo carente de diseño y sentido, despiadado e insensible al sufrimiento de

⁶ Naturalista alemán de vasta trayectoria en Argentina.

⁷ Algunos de estos ejemplares sirvieron para la descripción de nuevas especies que fueron bautizadas con el nombre específico “hudsoni” en honor a Hudson.

sus criaturas (Gómez, 2008; Novoa & Levine, 2010). Hudson fue inicialmente escéptico respecto del darwinismo para luego tener una relación ambigua con las ideas del naturalista inglés, siempre con una importante dosis de desconfianza. Por ejemplo, en su libro *El naturalista en El Plata* (Hudson, 2010) cuestiona la hipótesis de la selección sexual en un capítulo dedicado al colibrí: “Si los tonos iridisados y centelleantes y los peculiares adornos que han dado fama a esta especie son el resultado de un proceso acumulativo de consciente o voluntaria selección sexual, según creía Darwin, o la simple consecuencia de una superabundante vitalidad, como sostiene con énfasis el doctor A. R. Wallace, es un problema que la ciencia todavía no ha respondido satisfactoriamente”. Sin embargo, en otros pasajes da muestras de haber incorporado la perspectiva darwiniana. En el mismo libro (Hudson, 2010) dice, con inconfundible tono darwiniano, en relación con la coloración de ciertas aves del sur patagónico que “... colocados en gran desventaja a causa de la debilidad de su vuelo..., habrían sido seguramente muy perjudicados en su lucha por la vida si hubieran tenido colores vistosos”. En el mismo sentido, en *Allá lejos y hace tiempo* (citado por Montserrat, 2012) dice Hudson: “En forma insensible e inevitable, me había convertido en un evolucionista, aunque nunca del todo satisfecho con la selección natural, como la única y suficiente explicación de los cambios en la forma de vida. Y otra vez, insensiblemente, la nueva doctrina me condujo a modificaciones de las antiguas ideas religiosas y eventualmente a una nueva y simplificada filosofía de la vida. Bastante buena en lo que se refiere a esta existencia, pero que desgraciadamente, no toma en cuenta la otra, la perdurable”⁸. Es en este contexto intelectual que tienen lugar las críticas de Hudson a Darwin, y la respuesta del naturalista inglés.

El cruce entre Hudson y Darwin, el único diálogo académico directo entre un ciudadano argentino y Darwin (Novoa & Levine, 2010), es consecuencia de la publicación de varias notas del primero en los *Proceedings*. En algunos de estos escritos Hudson cuestiona ciertas observaciones e interpretaciones de Darwin sobre el pájaro carpintero de la Pampas⁹. Darwin había observado que, a pesar de habitar zonas abiertas con escasos árboles y de buscar casi todo su alimento en el suelo, esta especie conservaba todos los rasgos típicos de los pájaros carpinteros de hábitos marcadamente arborícolas. En *El Origen* dice el naturalista inglés:

En las llanuras de La Plata, donde apenas crece un árbol, hay un pájaro carpintero (*Colaptes campestris*) que tiene dos dedos hacia adelante y dos hacia atrás, la

⁸Vemos aquí una forma de asimilar el darwinismo que lejos de ser idiosincrática de Hudson fue compartida por muchos y que consiste en aceptar la noción general de evolución al tiempo que se rechaza la de selección natural. Recordemos que es la idea de selección, con su irreductible componente azaroso, la que tiene connotaciones más inquietantes para muchas personas. Cabe recordar también que en los años inmediatamente posteriores a la publicación de *El Origen* la noción general de evolución tuvo una aceptación generalizada pero no así la de selección natural. En efecto, entre la publicación de *El Origen* y el establecimiento de la *Teoría Sintética de la Evolución* florecieron teorías evolucionistas pero anti-darwinianas, en el sentido de negar la relevancia o la centralidad de la selección natural, tales como la ortogénesis, el mutacionismo o las teorías neolamarckianas (Bowler, 2005, 1985).

⁹Se trata del “carpintero campestre” (*Colaptes campestris*).

lengua larga y puntiaguda, las plumas rectrices puntiagudas, lo suficientemente rígidas para sostener el animal su posición vertical en un poste, aunque no tan rígidas como en los pájaros carpinteros típicos, pero es lo suficientemente fuerte para taladrar la madera. Por consiguiente, este Colaptes es un pájaro carpintero en todas las partes esenciales de su conformación. Aún en caracteres tan insignificantes como la coloración, el timbre desagradable de la voz y el vuelo ondulado, se manifiesta claramente su parentesco con nuestro pájaro carpintero común y, sin embargo –como puedo afirmar, no solo por mis propias observaciones, sino también por las de Azara, tan exacto- en algunos grandes distritos no trepa a los árboles y hace sus nidos en agujeros en márgenes (Darwin, 2009).

Este hecho llamaba la atención de Darwin porque desde su perspectiva cabría esperar que la selección natural hubiera modificado esta especie de acuerdo con las particularidades de su ambiente (las llanuras sin árboles) y sus hábitos.

En relación con esta descripción del carpintero pampeano, Hudson impugnará tanto las observaciones de Darwin como sus cualidades y legitimidad como observador de la fauna autóctona. En una de sus notas en los *Proceedings* del año 1870 observa (citado en Gómez, 2008) que “Aunque este naturalista (Darwin) es un observador cuidadoso no le fue posible conocer mucho de las especies con ver solo dos o tres especímenes durante su rápido viaje por las pampas. Sin duda, si hubiera conocido mejor los hábitos de estos pájaros, no habría intentado aducir de él un argumento a favor de su teoría ..., lo cual es una desviación tan grave de la verdad en este contexto, que tal vez sirva para dar a sus adversarios una razón más para la crítica de sus declaraciones erróneas o exageradas”. Luego afirma que aunque pueda ser cierto que la selección sea capaz de modificar las especies tal como lo sugiere Darwin, el caso del carpintero de las pampas no apoya dicha teoría. El naturalista del Plata insiste: “A quien conozca el pájaro mencionado y su hábitat, la lectura del pasaje citado le incitaría a creer que Darwin a propósito distorsionó las verdades de la Naturaleza para probar su teoría; sin embargo, ya en sus ‘investigaciones’, escritas con anterioridad a que concibiera la teoría de la selección natural, abundan aseveraciones erróneas, y en lo que se refiere a este país, deberían considerarse, creo yo, descuidos”. Tras cuestionar la validez de las observaciones de Darwin, e incluso la “buena fe” de las mismas, Hudson pasa a poner en duda el contenido de dichas observaciones señalando la existencia de árboles sembrados y bosques naturales en la región del Plata y afirmando que “Todos estos bosques y arboledas son visitados por el carpintero, donde se lo puede observar trepando árboles, reposando sobre su cola de plumas rígidas y desiguales y picoteando la corteza con el pico tal como lo hacen otros pájaros de la misma especie”. Luego relaciona ambas cuestiones sosteniendo que “No solo las erróneas observaciones acerca de los hábitos del carpintero desacreditan la mención que Darwin hace del mismo, sino también contradicen la verdad de su hipótesis teórica. El mismo Darwin lo describe como un carpintero perfecto, no solo en su conformación, sino en sus colores, su vuelo ondulatorio y su grito agudo y estridente: se trata de un pájaro típico de zonas arbóreas; es obvio, entonces, que la selección natural lo ha dejado inalterado. ¿Pero

no es razonable suponer, entonces, que si existiera tal agente en la naturaleza, ya hubiera hecho algo por esta especie, dado que sus estructuras y hábitos están tan mal adaptados a su situación? En efecto, la selección natural no ha hecho nada en absoluto: sus colores no se han atenuado ni sus gritos han disminuido en intensidad; aun cuando atraviesa el campo abierto, sin quererlo y con sus gritos y colores atrae a sus enemigos de los que tiene poca esperanza de escaparse; la selección natural no le ha otorgado, por su propia seguridad, el instinto de esconderse, tan común en los pájaros verdaderos de las pampas”. De hecho, para Hudson, el carpintero pampeano está tan mal adaptado a su entorno que “Su posible extinción con el tiempo no me sorprendería...”.

De este modo, Hudson hace, entonces, un doble cuestionamiento a Darwin. Por un lado, pone en tela de juicio sus observaciones e interpretaciones, pero, además, pone en duda su idoneidad como naturalista cuando de la fauna sudamericana se trata.

En su respuesta¹⁰ (versión en castellano reproducida en Gómez, 2008) Darwin intenta justificar lo pertinente de sus observaciones y, además, cita, como un testimonio a su favor, al naturalista Félix de Azara¹¹ (referencia incluida en la última edición de *El Origen* de donde tomamos la cita de Darwin sobre el carpintero reproducida más arriba, pero ausente en la edición leída por Hudson). Azara coincide con Darwin en que el carpintero pampeano no frecuenta zonas arboladas y, además, observa diferencias entre el carpintero pampeano y los típicos de los bosques que avalarían la hipótesis de que la especie de los llanos habría sufrido al menos algunas modificaciones adaptativas (las plumas de las cola no serían, por ejemplo, tan rígidas), tal como se esperaría de acuerdo con la teoría darwiniana. Pero Darwin también se defiende en el plano moral: “Por último, creo que el señor Hudson se equivoca cuando dice que cualquier persona que conozca los hábitos de este pájaro podría pensar que yo ‘a propósito distorsioné las verdades de la Naturaleza para probar mi teoría’. Él me exonera de esta acusación; pero me niego a pensar que haya muchos naturalistas que, sin prueba alguna, acusen a un colega de mentir deliberadamente para probar su teoría”. Esta respuesta de Darwin da fin al intercambio entre ambos naturalistas.

2.5 Segundo caso: Francisco Muñiz y Charles Darwin

Como antecedente para comprender este episodio debemos decir antes unas palabras sobre la cuestión de la “vaca ñata”¹² (un relato especialmente ameno de este caso, que puede ser utilizado directamente por los estudiantes, se encuentra en Lizarraga & Salgado, 2005). Estando en la Banda Oriental (actual República Oriental de Uruguay) Darwin observó una extraña variedad de la vaca doméstica que le causó una profunda impresión que registró en su diario: “Dos veces encontré en esta provincia bueyes

¹⁰ La versión original en inglés está disponible en <https://goo.gl/yw5wcf>

¹¹ Naturalista español que viajó a Sudamérica en 1871, donde permaneció durante veinte años, dejando como parte de su legado extensas y ricas descripciones de la naturaleza local.

¹² El término “ñato” es un americanismo, muy utilizado en Argentina, que hace referencia a poseer una nariz chata, poco prominente, como en los perros de raza bulldog, pequinés y otros semejantes.

pertenecientes a una raza muy curiosa, que llaman ñata. Tienen con los demás bueyes casi las mismas relaciones que los bull-dogs o los gozquecillos tienen con los otros perros. Su frente es muy deprimida y muy ancha, el extremo de las narices está levantado, el labio superior se retira hacia atrás; la mandíbula inferior avanza más que la superior y se encorva también de abajo a arriba, de modo que siempre están enseñando los dientes. Las ventanas de la nariz, colocadas muy altas, están muy abiertas; los ojos se proyectan hacia adelante. Cuando andan, llevan muy baja la cabeza; el cuello es corto, las patas de atrás son un poco más largas de lo habitual, si se comparan con las de adelante. Sus dientes al descubierto, su corta cabeza y sus narices respingadas les dan un aire batallador y cómico al mismo tiempo” (Darwin, 2007). Ya de regreso en Inglaterra, cuando Darwin se encontraba elaborando su teoría de la selección natural, las vacas ñatas entraron en escena nuevamente. El punto era que varios de sus extravagantes rasgos podían interpretarse como “atavismos”, es decir, rasgos primitivos presentes en los presuntos ancestros silvestres, que reaparecían en variedades domésticas en las que la mano humana había relajado el control selectivo (tal era el caso de las vacas ñatas). Este fenómeno se conocía como “reversión”. En esta línea, Hugh Falconer (destacado paleontólogo escocés) señaló a Darwin ciertas semejanzas entre las vacas ñatas y *Sivatherium*, un bóvido prehistórico de la India ¿Por qué interesaba a Darwin el fenómeno de la reversión? Para comprender por qué este tema era problemático debemos recordar que Darwin utilizó la modificación generada por los humanos en los animales domésticos mediante selección artificial como un argumento analógico a favor de la hipótesis de selección natural (Ruse, 1994): si el humano podía modificar las especies domésticas eligiendo como reproductores aquellos individuos que exhibieran las variantes deseadas de ciertos rasgos, entonces “la naturaleza” (el clima, los depredadores, etc.) podría hacer lo mismo en las poblaciones silvestres. Pero este argumento requería que el cambio generado fuera mínimamente estable. Si, por el contrario, el cambio forzado por las circunstancias fuera temporal, entonces no podría aducirse este mecanismo para explicar el origen de los grandes grupos de seres vivos, muy diferentes unos de otros, o de rasgos complejos y adaptativos que requieren la acumulación de numerosos pequeños cambios a lo largo de grandes períodos de tiempo. En este contexto, los casos de atavismo podían interpretarse como una evidencia de que cuando se relajaba la presión selectiva en los linajes modificados por el ser humano reaparecían los rasgos del tipo original (reversión), de modo que la selección no podría provocar cambios duraderos y, por lo tanto, acumulativos.

Preocupado entonces por estas cuestiones de gran relevancia teórica, Darwin pidió información sobre la vaca ñata a su amigo, el comerciante inglés radicado en Buenos Aires Edward Lumb. Lumb señaló a Darwin que la persona más calificada para brindarle la información solicitada era Francisco Javier Muñiz. Muñiz (1795-1871) era un médico de la policía y paleontólogo aficionado cuyo contacto con el mundo académico europeo no se limitó a su relación con Darwin. Por ejemplo, en las décadas de 1830 y 1840, publicó los resultados de sus investigaciones médicas en el *London Medical and Surgical Journal* (Novoa & Levine, 2010). Así, Muñiz recibió, por intermedio de Lumb, un cuestionario sobre la vaca ñata elaborado por Darwin. A diferencia del caso de Hudson, el intercambio

con Muñiz tuvo lugar mediante correspondencia privada y antes de la publicación de *El Origen* en 1859. En el informe que Muñiz remitió a Darwin¹³ (en una carta del 30 de agosto de 1846) asegura que la raza de las vacas ñatas habría surgido en los “territorios indios”, al sur de Buenos Aires. Serían vacas “cimarronas”, es decir, vueltas al estado salvaje. También informó sobre la dominancia de los rasgos de la variante “ñata” en la descendencia híbrida y sobre la susceptibilidad de las vacas ñatas en tiempos de sequía, ya que al no poder juntar los labios, como lo hacía el ganado común, no podían alimentarse de brotes de arbustos cuando la hierba escaseaba. El dato más preocupante para Darwin era la primacía en la reproducción de los rasgos de la raza “ñata”, ya que, dadas las creencias de la época, dicha dominancia se consideraba un signo de la condición primitiva del rasgo. Las vacas ñatas, en síntesis, exhibían “atavismos” y, por lo tanto, parecían un claro caso de “reversión”, es decir, un caso que minaba la credibilidad de la selección natural como mecanismo generador de cambios evolutivos estables.

En este contexto, tiene lugar un intercambio epistolar entre Muñiz y Darwin, posterior al envío por parte de Muñiz del informe sobre la vaca ñata. El diálogo comienza con una carta de Muñiz conteniendo un informe sobre uno de sus hallazgos paleontológicos; un felino fósil al que en el título del artículo publicado se refirió, con poca modestia, como “Muñi-Felis Bonaerensis” (Gómez, 2008; Lizarraga & Salgado, 2005; Novoa & Levine, 2010). Muñiz publicó la descripción de este “tigre dientes de sable” pampeano (que incluía una detallada comparación del tamaño entre la especie pampeana y el león del Viejo Mundo, cuestión cuya importancia veremos más adelante) en el periódico *la Gaceta Mercantil* del día 9 de agosto de 1845¹⁴. Luego envió a Darwin una copia de su informe sobre el “Muñi-Felis” y Darwin le respondió en una carta el día 26 de febrero de 1847. De la respuesta de Darwin se infiere que Muñiz tenía la intención de que el inglés le comprara el material fósil descrito. Muñiz creyó que la especie descrita era nueva para la ciencia: “No habiendo el recomendable Mr. Darwin dado a conocer la especie de que voy a dar noticia, después de sus interesantes trabajos sobre la Costa Patagónica y otros puntos de la República desde 1832 a 1836, estoy cierto de que soy el primero que la recomiende ...al examen de los sabios que se dedican al conocimiento de esos irrecusables testigos, víctimas al mismo tiempo de espantosas y desoladoras catástrofes” (reproducido en Gómez, 2008). La respuesta de Darwin¹⁵ debe haber supuesto una doble decepción para Muñiz. Por un lado, no le da muchas esperanzas en cuanto a la compra del material paleontológico en cuestión¹⁶. Por otro lado, sugiere que su hallazgo no es tan original: “Su

¹³ El borrador de la respuesta de Muñiz a Darwin fue hallado por Domingo Faustino Sarmiento (escritor, político, periodista y militar argentino, presidente de la República Argentina entre 1868 y 1874) cuando, en 1880, preparó una edición póstuma de los trabajos de Muñiz (Novoa & Levine, 2010).

¹⁴ El artículo se reproduce íntegramente en Gómez (2008).

¹⁵ La versión original en inglés está disponible en <https://goo.gl/iUhzL4>. La versión en castellano se reproduce en Gómez (2008).

¹⁶ Sin embargo, Darwin era consciente de que Muñiz era un potencial proveedor de material paleontológico de gran valor y no quería que dicho material terminara en los museos de Francia (Novoa & Levine, 2010), como ya había sucedido con una colección que Muñiz había donado al gobernador de Buenos Aires Juan Manuel de Rosas, por lo que, en correspondencia con Richard Owen, insistió para que se diera a Muñiz alguna retribución monetaria que lo estimulara a enviar su material a Inglaterra. Sin embargo, y a pesar de

especímen de Muñi-Felis debe ser horrible. Sospecho que será un *Machaerodus* del cual hay algunos fragmentos en el Museo Británico, y que procede de las Pampas”. A continuación, y dejando de lado la cuestión del felino pampeano, Darwin insiste con su pedido de información sobre la vaca ñata (y otros animales domésticos) que tanto le preocupaba: “Hace algún tiempo que usted tuvo la fineza de mandarme con Mr. E. Lumb algunos informes, muy curiosos, y para mí de mucho valor sobre la Vaca Ñata. Agradeceré cualquiera otra información sobre cualquiera de los animales domésticos del Plata, como el origen de algunas razas de aves, chanchos, perros, ganados, etc., etc.”. Esta más bien fría respuesta de Darwin (Novoa & Levine, 2010), que Muñiz jamás respondió, fue el fin del intercambio con el naturalista del Plata.

Finalmente, Darwin evitó toda mención a la problemática vaca ñata cuando trató el tema de la reversión¹⁷ en *El Origen*. Reconoció el fenómeno y discutió algunos casos concretos, pero negó que hubiera evidencias de que las especies domésticas manifestaran una “tendencia enérgica” a la reversión (Darwin, 2009).

2.6 Por qué utilizar los casos de Hudson y Darwin y Muñiz y Darwin en la enseñanza

Para la construcción de buenos modelos de biología evolutiva

Ambos casos sirven para instalar algunos problemas estrictamente conceptuales con respecto al modelo de evolución por selección natural. En relación con esta posibilidad se puede proponer una discusión sincrónica (históricamente contextualizada) o diacrónica (analizando el caso “desde el hoy”). Aunque ambos enfoques tienen sus virtudes (Klassen & Klassen, 2014), en el segundo caso es importante explicitar con los estudiantes la naturaleza del análisis realizado de modo de no caer en el frecuente error de emitir juicios de valor sobre científico(a)s y teorías del pasado desde la perspectiva actual, o de seleccionar y destacar solo aquellas teorías que, en retrospectiva, pueden verse como “pasos hacia adelante”. Se trata, en definitiva, de evitar el justamente criticado enfoque “whig” de la HC (Allchin, 2013, 2012; Butterfield, 1931).

Así, por ejemplo, se puede promover un análisis sincrónico del caso de Hudson y Darwin a partir de preguntas tales como: ¿Por qué a Darwin le llamaba tanto la atención la existencia de una especie de pájaro carpintero que viviera en las llanuras conservando muchas de las adaptaciones a la vida arbórea típicas de esta familia de aves?; y ¿por qué estaba tan interesado en mostrar que dicho desajuste entre el carpintero pampeano y su ambiente no era total (es decir, que el ave sí presentaba algunas modificaciones adaptativas en relación con su entorno llano)? Estas cuestiones nos permitirán analizar con los y las estudiantes algunos aspectos argumentativos de la obra de Darwin, ligados a su necesidad de justificar la eficacia del mecanismo de selección natural. Cabe recordar que para Darwin fue (relativamente) más fácil argumentar a favor del cambio evolutivo

las muchas gestiones que el propio Muñiz hizo para convertirse en el principal proveedor de fósiles de esta parte del planeta, sus anhelos comerciales nunca se concretaron (Podgorny, 2011).

¹⁷ Posteriormente, trataría nuevamente el tema en su libro de 1868 *La variación de los animales y de las plantas bajo domesticación* (Darwin, 1875).

per se que del mecanismo (selección natural) que proponía para dar cuenta de dicho cambio (Bowler, 1985). La adaptación, esto es, el ajuste funcional entre los organismos y su ambiente, era un corolario que se seguía de la operación de la selección: si la selección existía, entonces los organismos debían estar ajustados a su medio (Caponi, 2011). Así, un caso de una especie que enfrentada a un nuevo ambiente conservaba todas las adaptaciones a su ambiente anterior constituía una potencial anomalía desde la perspectiva seleccionista.

Siguiendo con este mismo problema conceptual se puede hacer un análisis diacrónico a partir de preguntas tales como: desde la perspectiva teórica actual, ¿cabe esperar¹⁸ un ajuste perfecto entre el organismo y su ambiente?; y aceptando la hipótesis central de Darwin (la selección natural como principal factor evolutivo), ¿qué podría explicar que el carpintero de las pampas conservara la mayoría de las adaptaciones a ambientes boscosos? Estas preguntas permitirán discutir con los estudiantes que, dada nuestra comprensión actual de la teoría, son varias las razones por las que no cabe esperar un ajuste perfecto entre los organismos y el medio (sobre las restricciones al poder de la selección natural véase, por ejemplo, Bergstrom & Dugatkin, 2012, y el clásico artículo de Gould & Lewontin, 1979). Entre estas razones se encuentran un inevitable desfasaje temporal entre los cambios ambientales y la respuesta adaptativa poblacional producida por la selección, y la eventual ausencia de variantes heredables ventajosas susceptibles de ser seleccionadas. Desde la “evo-devo” o “biología evolucionaria del desarrollo”, una de las líneas más activas de investigación en biología evolutiva que pretenden superar la ortodoxia de la teoría sintética de la evolución, podríamos agregar el efecto limitante que los patrones de desarrollo imponen a los posibles cambios evolutivos (Futuyma, 2009).

De un modo semejante, desde una perspectiva sincrónica, el caso de Muñiz permite discutir cuestiones tales como: ¿por qué preocuparía a Darwin la existencia de casos de reversión?; o ¿cómo resolvió (si es que lo hizo) este escollo conceptual Darwin? Dimos algunas pistas para este análisis en el apartado sobre el caso de Muñiz, por lo que no diremos más al respecto. Solo señalaremos que aquí también, como en el caso Hudson, se pueden analizar los aspectos argumentativos de la obra de Darwin. En este sentido, Ruse (1994) sostiene que Darwin hizo un uso justificativo (además de heurístico) de la analogía entre la selección artificial y la selección natural. Es decir, si la selección artificial ocurre, algo semejante debe ocurrir en la naturaleza.

Desde una visión diacrónica podemos proponer a los y las estudiantes la discusión de preguntas tales como: desde la perspectiva teórica actual, ¿qué esperamos que suceda evolutivamente con una población de animales domésticos librados a su suerte en la

¹⁸ Como parece hacerlo Darwin y como pide Hudson al decir “¿Pero no es razonable suponer, entonces, que si existiera tal agente en la naturaleza, ya hubiera hecho algo por esta especie, dado que sus estructuras y hábitos están tan mal adaptados a su situación?” (cit. en Gómez, 2008).

naturaleza (es decir, cuando el humano deja de ejercer la selección artificial)?; ¿es posible una reversión total? Con respecto a este problema es interesante plantear a los estudiantes la cuestión de qué condiciones deberían cumplirse para que tuviera lugar una verdadera reversión total. Desde la perspectiva teórica actual podemos suponer que deberían darse las mutaciones que revirtieran exactamente todos los cambios genéticos seleccionados durante la domesticación y, además, en una secuencia temporal que coincidiera con circunstancias ambientales que implicaran la selección de dichas mutaciones. Así, aunque algún rasgo específico sí podría volver a su estado anterior (incluso con una base genética diferente), no sería esperable que se reconstituiera la especie ancestral completa.

Los precedentes son solo algunos ejemplos de análisis de ambos casos históricos centrados en cuestiones conceptuales: la historia puede servir de “disparador” para problematizar la evolución y, por lo tanto, para potenciar la construcción de los modelos pertinentes. Los docentes lectores podrán hallar muchas otras cuestiones de interés conceptual implicadas en las discusiones que Darwin mantuvo con Hudson y Muñiz. Por otro lado, ambos casos tienen un gran potencial para discutir varios aspectos de la naturaleza de la ciencia. A continuación exploraremos algunos de estos posibles análisis.

Para la construcción de buenos modelos de naturaleza de la ciencia

Desde el punto de vista de la historia de la ciencia

En términos muy generales, ambos casos permiten relacionar la historia de la teoría de la evolución con la historia regional y local (Latinoamérica y Argentina, en este caso) y permiten también que los estudiantes conozcan a importantes protagonistas de dicha historia. Tal es el caso de William Henry Hudson y de Francisco Javier Muñiz, dos grandes naturalistas argentinos que, aunque ausentes de la enseñanza obligatoria, en su época fueron reconocidos tanto en Argentina como en Europa y Estados Unidos.

Creemos que son varias las razones por las cuales estos episodios históricos pueden ayudar a introducir una mejor historia de la ciencia (en el sentido de contribuir a la construcción de una imagen de ciencia y de científico más adecuada) en la enseñanza. En este sentido, los relatos históricos que habitualmente se presentan suelen incluir análisis formulados preferente o exclusivamente en términos de los llamados factores internos (las evidencias, la metodología, etc.) y de los valores epistémicos o cognitivos (coherencia, poder predictivo, etc.). Estas narrativas tienden a ignorar los factores externos (economía, ideología, etc.) y los valores no epistémicos o culturales o sociales (libertad, democracia, etc.)¹⁹. Además, frecuentemente suponen un enfoque *whig* (Klassen & Klassen, 2014),

¹⁹ Tal como cabría suponer, la distinción entre factores internos y externos, así como entre valores epistémicos y no-epistémicos, ha sido cuestionada (Rooney, 1992). Creemos que, de todos modos, tiene valor analítico en este contexto. En parte, estas distinciones se asocian con otras igualmente cuestionadas como la distinción entre los contextos de descubrimiento y aplicación, de modo que los valores no-epistémicos serían relevantes solo en el contexto de aplicación mientras que en el contexto de justificación influirían exclusivamente los valores epistémicos (Couló, 2014). Otros autores distinguen muchas más

esto es, la tendencia a distorsionar la historia proyectando intenciones y concepciones del presente en científicos del pasado (anacronismo) y a juzgar los aportes de estos científicos en función de las ideas actualmente aceptadas. Ambos aspectos se relacionan con las concepciones deformadas de la ciencia que Fernández et al. (2002) denominan “aprobématica y ahistórica” y “descontextualizada y socialmente neutra”. Es claro que este sesgo contribuye a la idealización de la actividad científica como una empresa enteramente racional y objetiva. Los casos presentados ayudan a integrar en el análisis algunos factores externos tales como la influencia de la nacionalidad en la actividad científica, cuestión que –como analizaremos más adelante– se evidencia en la relación asimétrica entre los naturalistas de la colonia y los del imperio. Por otro lado, cuando nos preguntamos por qué el problema de la reversión preocupaba a Darwin estamos analizando las ideas de Darwin en su propio contexto teórico, desde un enfoque “horizontal” (Mayr, 1990) o “sincrónico” (Kragh, 2007) lo que previene la cuestionada mirada whig y la perspectiva descontextualizada que supone. De hecho, la reversión no constituye un tema en el marco de la teoría cual. Sin embargo, se ha señalado que una historia puramente sincrónica (sin ninguna referencia al conocimiento actual) solo sería de interés para un historiador. Por tal motivo, y como sugieren Klassen & Klassen (2014), en el apartado anterior hemos propuesto llevar a cabo ambos análisis (vertical y horizontal, diacrónico y sincrónico). Insistimos además en la necesidad de explicitar en qué consisten ambos enfoques con los estudiantes, de modo de prevenir las distorsiones propias de la historiografía whig.

Estos casos sirven también para cuestionar la concepción empiro-inductivista y ateorica. Por ejemplo, al analizar con los estudiantes la cuestión de por qué las vacas ñatas llamaron la atención de Darwin es fácil ver que los rasgos del curioso animal eran interesantes solo en el marco teórico desde el cual Darwin los observó. Aunque el aspecto extravagante de estos animales podría llamar la atención de muchas personas, solo alguien que hiciera una determinada lectura teórica del fenómeno se embarcaría en una indagación como la que desarrolló Darwin. Es interesante señalar que, a diferencia de muchos científicos actuales y educadores, el propio Darwin era consciente de la importancia de las hipótesis teóricas desde las cuales se realizan las observaciones; en una carta a Henry Fawcett (economista y político inglés contemporáneo de Darwin) señaló “¡Qué extraño es que todo el mundo no tenga claro que toda observación, si es que ha de ser de alguna utilidad, ha de estar a favor o en contra de alguna opinión!”²⁰.

También podemos usar estos casos para cuestionar la concepción individualista y elitista, ya que ambos muestran la importancia del trabajo colaborativo, de la discusión y el

categorías de valores (ver, por ejemplo, Echeverría, 2003). Ruse (2001) analiza la influencia de los valores epistémicos y no-epistémicos (“culturales”) en distintos autores de la historia de la biología evolutiva, desde Erasmus Darwin (abuelo de Charles) hasta autores contemporáneos como Richard Dawkins y Stephen Jay Gould.

²⁰ En el original en inglés: “How odd it is that everyone should not see that all observation must be for or against some view, if it is to be of any service”. Carta de Darwin a Henry Fawcett del 18 de septiembre de 1861. Recuperada de <https://goo.gl/gN4A6v>.

intercambio de información e ideas, esto es, de la construcción colectiva del conocimiento. Esto queda en evidencia en la profusa (¡alrededor de catorce mil quinientas cartas!) correspondencia que Darwin intercambió con cientos de naturalistas en diversos países²¹. En cierto sentido, sin embargo, podemos decir que aunque estos casos cuestionan el carácter individual del trabajo científico abonan, al mismo tiempo, una caracterización de la ciencia como una actividad elitista, problema que se evidencia en la asimetría entre Darwin y sus correspondientes sudamericanos (analizaremos esta cuestión en el siguiente apartado). Por otro lado, el mismo Darwin representa el estereotipo elitista del científico; varón, blanco, europeo, de clase alta. Esta aparente paradoja (el hecho de que se evidencie un carácter elitista que es parte de una presunta concepción deformada de la ciencia) se relaciona con el problema de si debemos introducir una naturaleza de la ciencia normativa (tendiente a enseñar lo que la ciencia debería ser según ciertos ideales) o descriptiva (tendiente a enseñar lo que la ciencia de hecho es, incluyendo todas sus grandezas y miserias) en la enseñanza (Allchin, 2013). Concordamos con Allchin (2013) cuando sugiere que ambos enfoques deberían utilizarse en la enseñanza explicitando sus diferencias. Por ejemplo, estos casos muestran que en la ciencia real la nacionalidad, la clase social y el género influyen, aunque no deberían hacerlo en la ciencia ideal.

Desde el punto de vista de la sociología de la ciencia

Sugeriremos ahora que los casos históricos analizados son particularmente interesantes para llevar a cabo algunos análisis sociológicos. Consideramos que esto es especialmente valioso porque, en comparación con la epistemología y la HC, son pocas las propuestas para introducir conceptos de la sociología de las ciencias en la enseñanza (Kutrovátz & Zemplén, 2014). Más específicamente, propondremos utilizar estos casos para abordar el tópico ciencia y periferia. De acuerdo con Kreimer, entendemos por periferia las "... sociedades en las cuales la ciencia se desarrolló con posterioridad y en condiciones particulares respecto de los contextos institucionales más dinámicos, localizados en particular en Europa occidental y en Estados Unidos" (Kreimer, 2010, 2000).

La cuestión de la ciencia en la periferia remite a varios temas, entre ellos al problema de cómo las grandes teorías científicas fueron recibidas, discutidas y asimiladas (¿redefinidas?) en nuestros países y de qué modo esos aportes impactaron en nuestras culturas. Ya hemos advertido sobre el riesgo de caer en el relativismo al llevar a cabo análisis sociológicos. Es necesario hacer otra advertencia. Didactas y docentes siempre corremos el riesgo, cuando intentamos introducir análisis metacientíficos en la enseñanza, de cometer algunos errores como consecuencia de no ser historiadores, epistemólogos ni sociólogos de la ciencia profesionales. Por otro lado, y más allá de las siempre limitadas oportunidades para el trabajo colaborativo con colegas de otras disciplinas, estamos obligados a asumir el desafío. Sería fácil, por ejemplo, en relación con la propuesta de

²¹ Buena parte de la correspondencia de Darwin está disponible en la web del *Darwin correspondence Project* de la Universidad de Cambridge (Burkhardt, 2014).

analizar la cuestión ciencia y periferia, asumir un modelo “difusionista” de la ciencia que es cuestionable (Kreimer, 2010). De acuerdo con Forero (2002), este modelo implica analizar la HC en el marco del proceso de modernización, derivado de la difusión de las innovaciones tecnológicas. El proceso comprendería tres etapas: invención, difusión y consecuencias. Uno de los aspectos discutibles de este modelo es que supone que las teorías científicas son entidades claramente definidas y que, desde su lugar de origen, se difunden, llegando a otros sitios en los que lo que resta del proceso se limita a su aceptación o rechazo, y a las eventuales consecuencias locales de dicha aceptación o rechazo. Desde esta perspectiva es difícil de comprender, por ejemplo, las interminables discusiones sobre el problema de si las versiones del darwinismo adoptadas (¿o reconstruidas?) en diversos países eran “verdadero darwinismo” o si, por el contrario, eran tergiversaciones que no merecen tal reconocimiento. Es evidente que si la teoría de Darwin constituyera un corpus conceptual claramente definido y delimitado no tendrían lugar tales discusiones. Cabe preguntarse de qué modo el darwinismo fue redefinido en cada época y país en que *El Origen* fue objeto de apropiación cultural. El modelo difusionista implica, además, una asimetría de los actores y una direccionalidad del proceso: las teorías e innovaciones tecnológicas provienen de los países industrializados con economías modernas y se difunden hacia los países en vías de desarrollo con economías tradicionales (Forero, 2002). Entre las limitaciones del modelo difusionista, Kreimer (2010) señala que el centro, que produce y define el mainstream científico, no es una entidad tan homogénea como suele creerse (existen grandes diferencias entre países, disciplinas e instituciones), y que también hay una significativa heterogeneidad al interior de la periferia (siendo una de las principales diferencias la distinción entre aquellos grupos que están asociados a la ciencia del centro y aquellos que no lo están). Para abordar este análisis es necesario entonces intentar una caracterización de la relación entre el centro y la periferia con respecto a la ciencia.

Kreimer (2010) cuestiona la propuesta del historiador peruano Marcos Cueto (1989) quien habla de “ciencia periférica” porque dicha expresión supone que la ciencia producida en la periferia siempre es de una calidad inferior a la del centro, lo que es desmentido por algunos de los casos ya mencionados (Houssay, Milstein y otros). Este autor (Kreimer, 2009) propone, en cambio, hablar de “ciencia en la periferia”; para caracterizar la relación entre la ciencia del centro y la de la periferia, propone el concepto de “integración subordinada”. De acuerdo con esta propuesta nuestra ciencia, en comparación con la de los países centrales, estaría integrada (y no marginada ni aislada), y sería subordinada (y no independiente ni simétrica). Los mencionados ejemplos de científicos en la periferia que hicieron grandes aportes a la ciencia internacional mostrarían la integración. La subordinación se evidenciaría en que “... la elección de las líneas de investigación, la visión de conjunto de los problemas conceptuales y, también, sus utilidades reales o potenciales están sometidas a una fuerte dependencia de los dictados de los centros de referencia, localizados en los países más desarrollados” (Kreimer, 2009). Es probable que –más allá de algunas diferencias interesantes– esta caracterización sea tan válida para los tiempos de Darwin (cuando la ciencia en Latinoamérica apenas comenzaba a institucionalizarse) como para la actualidad.

Comenzaremos ilustrando el potencial de los casos seleccionados para un análisis sociológico señalando un aspecto particular del caso de Muñiz que apenas hemos mencionado. Revisando el contenido del artículo de Muñiz publicado en la *Gaceta Mercantil* (reproducido en Gómez, 2008) podría llamar la atención la minuciosa comparación que hace entre el tamaño del Muñi-Felis y el del león actual del Viejo Mundo. Tal como señala Gómez (2008), esta cuestión tiene sentido en relación con una controversia de la época sobre el tamaño de la fauna americana asociada a las teorías del naturalista francés Buffon (Georges Louis Leclerc, conde de Buffon). Este autor había afirmado, en el marco de su teoría de la degeneración, que tanto los animales como los humanos del Nuevo Mundo eran de menor talla que los del Viejo. El estadounidense Thomas Jefferson fue uno de los autores que cuestionaron esta teoría buffoniana (Novoa & Levine, 2010; Dugatkin, 2009). El gran naturalista francés atribuía cierto infantilismo y primitivismo a las formas americanas. Señala Gómez (2008) que esta perspectiva no se limitó a las ciencias naturales y que, por ejemplo, se encontraba también en la filología que asumía que las lenguas americanas eran primitivas en comparación con las indoeuropeas, árabes y chinas. Confirmando esta teoría, el puma o león americano era más pequeño que el león africano y asiático. Es en este contexto que Muñiz se dedica en su estudio a comparar el “dientes de sable” pampeano con el león del Viejo Mundo, demostrando que el primero era mayor. Así, tal como señala Gómez (2008) este análisis de Muñiz puede leerse como un intento de reivindicar la naturaleza criolla²² frente a los prejuicios eurocéntricos de Buffon. También aquí vemos, entonces, que ciertos aspectos de la discusión científica resultan enigmáticos y sin sentido si no se adopta una perspectiva geopolítica de la discusión. El debate entre Jefferson y Buffon (véase Dugatkin, 2009), que terminó con el envío de un enorme alce disecado como prueba de la mayor talla de la variante americana de esta especie de cérvido, ilustra claramente la cuestiones de orgullo y dignidad nacional²³ que atravesaban estos debates presuntamente técnicos de la biología decimonónica.

Las rivalidades nacionalistas no se ven solo en los conflictos entre las colonias y el imperio, sino también entre imperios. Recordemos que en la mencionada carta de Darwin a Owen el autor de *El Origen* insta a su interlocutor a estimular económicamente a Muñiz para que

²²Demás está decir que la disputa no era solo sobre el tamaño de los seres de ambos continentes, sino también sobre su “vigor”, se trataba, en definitiva de establecer la superioridad física y moral de un continente sobre el otro. De acuerdo con la muy difundida teoría sobre la degeneración de Buffon, los seres de América eran débiles y enfermizos como consecuencia del clima cálido y húmedo de aquel continente. Gould (1994) sugiere que prejuicios ideológicos semejantes pueden haber operado en la elaboración de las hipótesis sobre las consecuencias del “gran intercambio americano” de fauna entre Norteamérica y Sudamérica que tuvo lugar cuando surgió el istmo de Panamá. En este caso, muchos relatos dejan traslucir el supuesto de que la fauna “invasora” del norte era intrínsecamente superior a la del sur, lo que explicaría la extinción masiva que habría tenido lugar en el sur como consecuencia del intercambio faunístico.

²³ De hecho, la carrera de Jefferson como paleontólogo incluye un incidente curiosamente análogo al del Muñi-Felis cuando, muy motivado por reivindicar la fauna americana frente a los prejuicios de Buffon, identificó erróneamente la garra de un gran perezoso terrestre con la garra de un felino americano que, dadas la dimensiones de la garra en cuestión, habría sido más grande que cualquier felino del Viejo Mundo (Gould, 2011, 1999).

envíe sus fósiles a Inglaterra. Este pedido de Darwin se relaciona con el hecho, que también mencionamos (ver nota 13), de que una importante colección que Muñiz había regalado al gobernador Rosas había sido enviada por este a París. Esta preocupación de Darwin se enmarca en la tradicional rivalidad entre Francia e Inglaterra, por entonces dos potencias coloniales (Novoa & Levine, 2010).

Glosamos a continuación otros análisis posibles propuestos por Gómez (2008) a partir de conceptos desarrollados por Bruno Latour (1992), que caben tanto para el caso de Muñiz como para el de Hudson y se relacionan con la cuestión “ciencia y periferia”. Siguiendo a Latour, señala esta autora que la actividad científica tiende a una “acumulación” que tiene lugar en la metrópolis (los países centrales, desarrollados). El término acumulación alude a una analogía entre las “redes de explotación científica” y las del capital en Occidente. Dice Gómez: “Para Latour, la relación asimétrica del conocimiento de la metrópolis respecto al de las colonias se establecería gracias a la capacidad de la primera para erigirse en centro y actuar a distancia sobre eventos, lugares, objetos y gentes coloniales, para de ese modo traerlos ‘a casa’. Con tal fin, el procedimiento requerido es el de recortar y construir objetos ‘móviles y estables’, de manera que puedan ser desplazados en ambas direcciones sin que su descontextualización los distorsione”. El caso de Darwin y los especímenes que envió a Inglaterra durante su viaje en el *Beagle*, así como sus posteriores descripciones y análisis publicados en Europa, serían un claro ejemplo de este proceso de acumulación. Como señala Gómez, la colaboración de Muñiz con Darwin (mediante el envío de información sobre la vaca ñata) y de Hudson con los ornitólogos del Smithsonian (enviando ejemplares y luego descripciones) serían también dos casos de naturalistas locales sirviendo de intermediarios y facilitadores del proceso de acumulación de la ciencia en el centro imperial. Sin embargo, en ambos casos hay también una reivindicación del valor de los naturalistas locales como portadores de la palabra autorizada cuando de la naturaleza local se trata. Por un lado, y como ya vimos, Hudson cuestiona a Darwin desde su lugar de conocedor de la fauna autóctona. Por otro lado, recordemos que la descripción de Muñiz del Muñi-Felis era –entre otras cosas– un intento de desmentir la prejuiciosa teoría de Buffon sobre la superioridad de la fauna del Viejo Mundo.

Podemos ver, entonces, que en ambos casos hay una tensión entre los roles asignados en el esquema mundial de acumulación del capital científico a los naturalistas de la colonia y los de la metrópolis, de la periferia y el centro. Contra la evidente asimetría impuesta por el escenario geopolítico, tanto Muñiz como Hudson parecen intentar superar el rol de meros proveedores de especímenes y datos para jugar también como evaluadores críticos y, por lo tanto, como constructores de teoría en pie de igualdad con los grandes naturalistas de los países centrales. Sin embargo, la asimetría persiste: ¿por qué dos naturalistas del Plata se dedicaron investigar y discutir estos temas?; ¿por qué preocupaba a Muñiz el tamaño relativo de un felino pampeano? (o, más evidente aún, ¿por qué investigó la vaca ñata?); ¿por qué estaba tan interesado Hudson en mostrar que un pájaro carpintero sudamericano conservaba sus adaptaciones a la vida en los bosques? Es claro que ambos naturalistas estaban trabajando en función de una agenda definida por Darwin

y Buffon, naturalistas que vivían a más de once mil kilómetros de distancia, pero que vivían en lo que Latour llamaba un “centro de cálculo”, en la metrópoli. Así, en la definición de la agenda de investigación vemos claramente la relación de integración subordinada de la que habla Kreimer²⁴. Una cuestión interesante para plantear a nuestros estudiantes es cuáles son las expresiones de esta asimetría en la ciencia actual en nuestros países; ¿en qué medida la agenda de trabajo de nuestros científicos está definida en función de los intereses regionales?

2.7 Conclusiones

Existe un amplio consenso sobre la necesidad de incorporar análisis metacientíficos o, más en general, de repensar la enseñanza teniendo en cuenta la naturaleza de la ciencia. En este sentido, son frecuentes los aportes hechos desde la HC y la epistemología. Menos común es el recurso de la sociología de la ciencia. Hemos comentado algunos de los riesgos que implica este tipo de análisis. Sin embargo, coincidimos con Allchin (2013) cuando concluye que “... aunque los sociólogos han documentado algunos episodios de la ciencia menos que inspiradores, sus hallazgos sobre cómo la cultura influye en las conclusiones científicas son importantes para una comprensión cabal de ‘cómo funciona la ciencia’”²⁵. Señala este autor que el ciudadano científicamente alfabetizado necesita ser consciente del error científico y de los límites de la autoridad científica, pero que, al mismo tiempo, necesita comprender los métodos que ayudan a los y las científicas a hacer más confiable el conocimiento. Es decir, esta conciencia crítica no debe llevarnos al relativismo. Por lo tanto, y como propone Allchin (2013), como docentes debemos adoptar una naturaleza dual de la ciencia, es decir, debemos trabajar para que los estudiantes comprendan ambos aspectos de la ciencia: aquellos que aportan a su falibilidad y aquellos que aportan a su confiabilidad.

En este trabajo hemos propuesto analizar dos casos históricos que relacionan a Darwin con dos naturalistas de Latinoamérica que, además de dar elementos de análisis para el aprendizaje de los modelos de la teoría de la evolución, tienen un gran potencial con respecto a la naturaleza de la ciencia. Otra particularidad del análisis sugerido es que vincula la historia de la biología evolutiva con la historia regional latinoamericana. Aunque son escasas las propuestas didácticas con esta orientación regional, afortunadamente contamos con cada vez más textos no técnicos que pueden servir de fuentes de calidad para que los y las docentes elaboren unidades didácticas que incorporen elementos de HC y de otras metaciencias con una perspectiva latinoamericana. Por ejemplo, para el caso del evolucionismo en Latinoamérica (especialmente en Argentina), véanse De Asúa, (2012); Glick, Ruiz, & Puig-Samper(1999); Gómez (2008); Goyogana (2009); Izarra (2009);

²⁴ La cuestión de la ciencia y la periferia es analizada en profundidad, para el caso del desarrollo de la biología molecular en Argentina, por Kreimer (2010). En su libro *El científico también es un ser humano. La ciencia bajo la lupa* (2009) este autor trata este y otros temas de sociología de la ciencia de un modo muy accesible y especialmente útil como insumo para introducir tópicos de esta metaciencia en la enseñanza.

²⁵ “... while sociologists have documented some less-than-inspirational episodes of science, their findings about how culture shapes scientific conclusions are important to understanding fully ‘how science works’”.

Lizarraga & Salgado (2005); Montserrat (2015, 2000); Novoa & Levine (2010); Orione & Rocchi (1986); Palma (2012, 2009); Puig-Samper, Ruiz, & Galera (2002), y Sosa (2006), entre otros. Invitamos entonces a los y las colegas docentes e investigadores a explorar estos análisis y a utilizarlos para el diseño de propuestas didácticas innovadoras. Por ejemplo, sería de gran valor llevar a las clases el problema de la eugenesia y el darwinismo social –ambos tristemente vigentes hoy en día²⁶– en Latinoamérica (Miranda & Vallejo, 2012, 2005; Vallejo y Miranda, 2012, 2010), cuyo abordaje requiere una comprensión sólida de los modelos de la biología evolutiva.

En particular, hemos sugerido algunos análisis sociológicos sobre la ciencia en Latinoamérica y su relación con la de Europa y E.U.A.: la cuestión ciencia y periferia. Creemos que es necesario introducir este tipo de análisis en la enseñanza y, muy especialmente, en la formación de futuros profesores y profesoras de ciencias naturales. Como comentamos en secciones anteriores, el sociólogo de la ciencia Pablo Kreimer (2009) habla de integración subordinada para dar cuenta de la relación entre nuestra ciencia y la de los países centrales. En el mismo sentido, aunque de un modo algo más duro, Polanko (citado por Chamizo, 2014) habla de la “fuga interior de cerebros” para referirse a la postura de muchos científicos latinoamericanos que, sin emigrar de sus países de origen, orientan sus investigaciones según los criterios impuestos por el sistema de recompensas definido por la ciencia de los países centrales. Esta relación de subordinación científica es, probablemente, una de las muchas caras de una relación general de subordinación política, económica e ideológica. Coincidimos con Chamizo (2014) cuando señala que este es “... un tema pendiente en la educación latinoamericana... ¡e incorporarlo es impostergable!”. Nos gustaría creer que este trabajo es una modesta contribución a esa necesaria toma de conciencia sobre nuestro rol como investigadores y educadores que vivimos y trabajamos en Latinoamérica.

Referencias

- Adúriz-Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia. La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires, Argentina: Fondo de Cultura Económica.
- Allchin, D. (2012). The Minnesota Case Studio Collection: New Historical Inquiry Case Studies for Nature of Science Education. *Science & Education*, 21(9), 1263-1281.
- Allchin, D. (2013). *Teaching the nature of science. Perspectives and resources*. Saint Paul, MN: Ships Education Press.
- Bergstrom, C. & Dugatkin, L. (2012). *Evolution*. New York, NY: W. W. Norton & Company.
- Bowler, P. (1985). *El eclipse del darwinismo. Teorías evolucionistas antidarwinistas en las décadas en torno a 1900*. Barcelona, España: Labor.
- Bowler, P. (2005). Revisiting the Eclipse of Darwinism. *Journal of the History of Biology*, 38(1), 19-32.

²⁶Como una muestra de la vigencia de estas ideas, véase, en relación con la eugenesia, el reciente caso de esterilización forzada en la República de Perú (<https://goo.gl/agW6eT>); y, en relación con el darwinismo social, ciertos discursos que aún circulan en los sectores políticos de derechas de la región como el expresado en esta carta de lectores enviada por un importante empresario al diario argentino, de orientación política conservadora, *La Nación*: <http://www.lanacion.com.ar/49183-cartas-de-lectores>

- Burkhardt, F. (Ed.). (2014). *Las cartas del Beagle*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Butterfield, H. (1931). *The Whig Interpretation of History*. London, UK: Bell.
- Caponi, G. (2011). *La segunda agenda darwiniana. Contribución preliminar a una historia del programa adaptacionista*. México, DF: Centro de Estudios Filosóficos, Políticos y Sociales Vicente Lombardo Toledano.
- Casinos, A. (2012). *Un evolucionista en el Plata. Florentino Ameghino*. Buenos Aires, Argentina: Fundación de Historia Natural Félix de Azara.
- Castornina, J. (2008). Los problemas conceptuales del constructivismo y sus relaciones con la educación. En R. Baquero, A. Camilloni, M. Carretero, J. Castorina, A. Lenzi, & E. Litwin (Eds.), *Debates constructivistas*. Buenos Aires, Argentina: Aique.
- Chamizo, J. (2014). Historia de la ciencia: un tema pendiente en la educación latinoamericana. En M. Quintanilla Gatica, S. Daza Rosales, & H. Cabrera Castillo (Comp.), *Historia y filosofía de la ciencia. Aportes para una 'nueva aula de ciencias', promotora de ciudadanía y valores*. Santiago, Chile: Bellaterra. Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia.
- Coleman, J., Stears, M., & Dempster, E. (2015). Student teachers' understanding and acceptance of evolution and the nature of science. *South African Journal of Education*, 35(2), 1079-1085.
- Couló, A. (2014). Philosophical Dimensions of Social and Ethical Issues in School Science Education: Values in Science and in Science Classroom. En M. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Cueto, M. (1989). *Excelencia Científica en la Periferia. Actividades Científicas e Investigación Biomédica en el Perú 1890-1950*. Lima, Perú: GRADE-CONCYTEC.
- Darwin, C. (2007). *Del Plata a Tierra del Fuego. Diario del viaje alrededor del mundo a bordo del Beagle. 1831-1836. Segunda etapa Buenos Aires / Patagonia / Cabo de Hornos*. Buenos Aires, Argentina: Zagier & Urruty.
- Darwin, C. (1875). *The Variation of Animals and Plants under Domestication*. London, UK: John Murray. Recuperado de http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1875_Variation_F880.1.pdf
- Darwin, C. (2009). *El origen de las especies por medio de la selección natural*. Madrid, España: Alianza.
- De Asúa, M. (2012). El darwinismo y los católicos en la Argentina. En H. Palma (Ed.), *Darwin y el darwinismo / 150 años después*. Buenos Aires, Argentina: UNSAM.
- Dugatkin, L. (2009). *Mr. Jefferson and Giant Moose. Natural History in Early America*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- Echeverría, J. (2003). *La revolución tecnocientífica*. Madrid, España: Fondo de Cultura Económica.
- Echeverría, J. (1998). *La filosofía de la ciencia*. Madrid, España: Akal.
- Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J. Cachapuz, A., & 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.
- Forero, O. (2002). Leyendo historias sobre el darwinismo. En M. Puig-Samper, R. Ruiz, & A. Galera (Eds.), *Evolucionismo y cultura. Darwinismo en Europa e Iberoamérica*. Madrid, España: Universidad Nacional Autónoma de México / Ediciones Doce Calles.
- Fourez, G. (2008). *Cómo se elabora el conocimiento. La epistemología desde un enfoque socioconstructivista*. Madrid, España: Narcea.
- Futuyma, D. (2009). *Evolution*. Sunderland, MA: Sinauer.
- Glick, T., Ruiz, R., & Puig-Samper, M. (Eds.).(1999). *El darwinismo en España e Iberoamérica*. Madrid, España: Universidad Nacional Autónoma de México / Ediciones Doce Calles.
- Gómez, L. (2008). *La piedra del escándalo. Darwin en Argentina (1845-1909)*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Simurg.

- González Galli, L. & Meinardi, E. (2013). ¿Está en crisis el darwinismo? Los nuevos modelos de la biología evolutiva y sus implicaciones didácticas. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 27, 219-234.
- Gould, S. (2011). *Las piedras falaces de Marrakech. Penúltimas reflexiones sobre historia natural*. Barcelona, España: Crítica.
- Gould, S. (1999). *La montaña de almejas de Leonardo. Reflexiones sobre historia natural*. Barcelona, España: Crítica.
- Gould, S. (1994). *El pulgar del panda. Reflexiones sobre historia natural y evolución*. Barcelona, España: Crítica.
- Gould, S. & Lewontin, R. (1979). The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist Programme. *Proceedings of the Royal Society B*, 205(1161), 581-598.
- Goyogana, F. (2009). Elogio de Darwin, según Sarmiento. *Todo es Historia*, 42(507), 18-33.
- Hudson, W. (2010). *El naturalista en El Plata*. Buenos Aires, Argentina: Elefante blanco.
- Izarrar, L. (2009). Darwin en Punta Alta, primer hito de su teoría. *Todo es Historia*, 42(507), 6-16.
- Izquierdo, M., Quintanilla, M. Vallverdú, J., & Merino, C. (2014). Una nueva reflexión sobre la historia & la filosofía de las ciencias y la enseñanza de las ciencias. En M. Quintanilla Gatica, S. Daza Rosales, & H. Cabrera Castillo (Comp.), *Historia y filosofía de la ciencia. Aportes para una 'nueva aula de ciencias', promotora de ciudadanía y valores*. Santiago, Chile: Bellaterra. Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia.
- Joshua, S. & Dupin, J. (2005). *Introducción a la didáctica de las ciencias y la matemática*. Buenos Aires, Argentina: Colihue.
- Jurado, A. (2007). *Vida y obra de W. H. Hudson*. Buenos Aires, Argentina: Letemendia.
- Klassen, S. & Klassen, C. (2014). Science Teaching with Historically Based Stories: Theoretical and Practical Perspectives. En M. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Kragh, H. (2007). *Introducción a la historia de la ciencia*. Barcelona, España. Crítica.
- Kreimer, P. (2010). *Ciencia y periferia. Nacimiento, muerte y resurrección de la biología molecular en la Argentina*. Buenos Aires, Argentina: EUDEBA.
- Kreimer, P. (2009). *El científico también es un ser humano. La ciencia bajo la lupa*. Buenos Aires, Argentina: Siglo Veintiuno Editores.
- Kreimer, P. (2000). Ciencia y periferia: una lectura sociológica. En M. Montserrat (Comp.), *La ciencia en la Argentina entre siglos. Textos, contextos e instituciones*. Buenos Aires, Argentina: Manantial.
- Kutrovátz, G. & Zemplén, A. (2014). Social Studies of Science and Science Teaching. En M. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Latour, B. (1992). *La ciencia en acción Cómo seguir a los científicos e ingenieros a través de las sociedades*. Barcelona, España: Labor.
- Lizarraga, F. & Salgado, L. (2005). *Las vacas de mister Darwin y otros ensayos*. General Roca, Argentina: PubliFadecs.
- Mackenzie, J., Good, R., & Brown, J. (2014). Postmodernism and Science Education: An Appraisal. En M. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Mayr, E. (1998). *Así es la biología*. Madrid, España: Debate.
- Mayr, E. (1990). When is Historiography Whiggish? *Journal of the History of Ideas*, 51(2), 301-309.
- Mellender de Araujo, A. (2010). Las reflexiones de Osvaldo Reig y el estado actual de la biología evolutiva. En E. Hasson, N. Lavagnino, P. Lipko, A. Massarini, J. Mensch, V. Scheinsohn, &

- A. Tropea (Eds.), *Darwin en el Sur. Ayer y Hoy. Contribuciones de la Primera Reunión de Biología Evolutiva del Cono Sur*. Buenos Aires, Argentina: Libros del Rojas.
- Miranda, M. & Vallejo, G. (Comp.). (2005). *Darwinismo social y eugenesia en el mundo latino*. Buenos Aires, Argentina: Siglo XXI.
- Miranda, M. & Vallejo, G. (Dir.). (2012). *Una historia de la eugenesia. Argentina y las redes biopolíticas internacionales 1912-1945*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Biblos.
- Montserrat, M. (2015). Darwin y Rosas, un encuentro singular. *Todo es Historia*, 47(572), 46-52.
- Montserrat, M. (2012). La primera lectura de *El Origen* en la Argentina. El caso de William Henry Hudson. En H. Palma (Ed.), *Darwin y el darwinismo / 150 años después*. Buenos Aires, Argentina: UNSAM.
- Montserrat, M. (Comp.). (2000). *La ciencia en la Argentina entre siglos. Textos, contextos e instituciones*. Buenos Aires, Argentina: Manantial.
- Narguizian, P. (2012). Evolution Education and the Nature of Science: Strategies for the Classroom. *International Journal of Humanities and Social Science*, 2(12), 1-4.
- Novoa, A. & Levine, A. (2010). *From ape to man. Darwinism in Argentina, 1870-1920*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- Orione, J. & Rocchi, F. (1986). El darwinismo en la Argentina. *Todo es Historia*, 18(228), 8-28.
- Palma, H. (Ed.). (2012). *Darwin y el darwinismo / 150 años después*. Buenos Aires, Argentina: UNSAM.
- Palma, H. (2009). *Darwin en la Argentina*. Buenos Aires, Argentina: UNSAM.
- Pennock, R. (2016). Learning evolution and the nature of science. Recuperado de https://msu.edu/~pennock5/courses/Frontiers_TENS.html
- Podgorny, I. (2011). El león de Hércules: Francisco X. Muñiz, Charles Darwin, Richard Owen y el género *Machairoodus*. En A. Barahona, E. Suárez & H. Rheinberger (Eds.), *Darwin. El arte de hacer ciencia*. México, DF: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Puig-Samper, M., Ruiz, R., & Galera, A. (Eds.). (2002). *Evolucionismo y cultura. Darwinismo en Europa e Iberoamérica*. Madrid, España: Universidad Nacional Autónoma de México / Ediciones Doce Calles.
- Rooney, P. (1992). On values in science: is the epistemic/non-epistemic distinction useful? *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. Volume One: Contributed Papers*, 13-22.
- Rosengren, K., Brem, S., Evans, E., & Sinatra, G. (2012). *Evolution Challenges. Integrating Research and Practice in Teaching and Learning about Evolution*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Rudolph, J. & Stewart, J. (1998). Evolution and the Nature of Science: On the Historical Discord and Its Implications for Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(10), 1069-1089.
- Ruse, M. (1994). *Tomándose a Darwin en serio*. Barcelona, España: Salvat.
- Ruse, M. (2001). *El misterio de los misterios ¿Es la evolución una construcción social?* Barcelona, España: Tusquets.
- Slezak, P. (1994a). Sociology of Scientific Knowledge and Scientific Education: Part I. *Science & Education*, 3(3), 265-294.
- Slezak, P. (1994b). Sociology of Scientific Knowledge and Scientific Education Part 2: Laboratory Life Under Microscope. *Science & Education*, 3(4), 329-355.
- Slezak, P. (2014). Appraising Constructivism in Science Education. En M. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Sosa, N. (2006). Syms Covington, el sirviente de Darwin. *Todo es Historia*, 39(470), 6-19.

- Stamos, D. (2009). *Evolución. Los grandes temas: sexo, raza, feminismo, religión y otras cuestiones*. Barcelona, España: Biblioteca Buridán.
- Vallejo, G. & Miranda, M. (Dir.). (2010). *Derivas de Darwin. Cultura y Política en clave biológica*. Buenos Aires, Argentina: Siglo XXI.
- Vallejo, G. & Miranda, M. (2012). La recepción del darwinismo en el Río de la Plata a través de las fantasías literarias. En H. Palma (Ed.), *Darwin y el darwinismo / 150 años después*. Buenos Aires, Argentina: UNSAM.
- Working Group on Teaching Evolution. (1998). *Teaching about evolution and the nature of science*. Washington, DC: National Academy Press.

CAPÍTULO 3

Aportes para la enseñanza del concepto homeostasis derivados de su análisis histórico

Gilberto Manuel Hernández
Institución Educativa Juan José Rondón
gilbert.latinboy@gmail.com

Henry Giovany Cabrera Castillo
Universidad del Valle
henry.g.cabrera.c@correounivalle.edu.co

Contenidos

Resumen

3.1 Introducción

3.2 La función complementaria de la historia y filosofía de las ciencias para la enseñanza de las ciencias

3.3 El campo conceptual de la homeostasis

3.4 Aspectos metodológicos y procedimentales

3.5 Resultados

3.6 Secreción interna: La primera noción que hizo referencia al concepto homeostasis

3.7 La transición de la noción de secreción interna a la noción de medio interno

3.8 La transición de la noción de medio interno a la homeostasis

3.9 La homeostasis

3.10 Implicaciones para la enseñanza del concepto homeostasis

3.11 Analogías para la enseñanza del concepto homeostasis

3.12 Situaciones problema para la enseñanza del concepto homeostasis

3.13 Experiencias para la enseñanza del concepto homeostasis

3.14 Consideraciones finales

Referencias

Aportes para la enseñanza del concepto homeostasis derivados de su análisis histórico

Resumen

Este trabajo parte de la idea de que la historia y la filosofía de la ciencia han adquirido un papel fundamental en la enseñanza de las ciencias, ya que a través de ellas podemos identificar contribuciones útiles que pueden formar parte de propuestas de intervención didáctica. En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo determinar algunos aportes para la enseñanza del concepto homeostasis derivados del estudio de su desarrollo histórico. Para ello, primero se presenta un breve estudio del desarrollo histórico de la homeostasis, y, posteriormente, formulamos las implicaciones que pueden ser útiles para su enseñanza.

3.1 Introducción

Se han desarrollado unas críticas a la educación tradicional entre las que se pueden mencionar las visiones deformadas de la ciencia, como la concepción individualista y rígida de la actividad científica, la concepción socialmente neutra y descontextualizada de la ciencia, una concepción ahistórica y aproblemática, el aprendizaje memorístico que promueven en los estudiantes, y el proceso de enseñanza-aprendizaje-evaluación centrado en el profesor (Campanario & Moya, 1999; Fernández, Gil, Carrascosa, Cachapuz, & Praia, 2002; Paz, 2008). Lo anterior ha permitido dirigir la atención a propuestas alternativas que han usado la historia de las ciencias y la filosofía de las ciencias (HFC) en la enseñanza de las ciencias naturales, ya que permite la determinación de obstáculos epistemológicos, el establecimiento de diálogo con los científicos, introducir en clase la discusión sobre la producción, la apropiación y el control de los conocimientos a nivel social e individual, y elementos para una mayor comprensión y construcción de los conceptos científicos escolares y su utilización como referente conceptual (Matthews, 1994; Ayala, 2006; Cabrera & Quintanilla, 2014).

En cuanto a los trabajos desarrollados sobre los aportes de la HFC a la enseñanza de las ciencias naturales podemos encontrar, entre otros muchos, aquellos que han estudiado la combustión (Cartwright, 2000, Cabrera, 2010) y la célula (Carrillo, Morales, Pezoa, & Camacho, 2011). En este orden de ideas, este trabajo se centra en la homeostasis porque forma una red conceptual en la cual se puede relacionar diferentes conceptos –como el equilibrio interno del organismo humano, su composición química, el sistema inmunológico, la concentración de iones, la regulación de la temperatura, y las hormonas entre otros–, y, sobre todo, porque en las investigaciones encontradas no se ha hecho un estudio del desarrollo histórico que brinde elementos para su enseñanza (Peña, 2004; Mayoral, 2008; Abreu de Andrede, Maximo Pereira, Cremonini de Araújo-Jorge, & Coutinho Silva, 2015).

Algunos estudios que acudieron a la HFC y se enfocaron en el concepto homeostasis permitieron identificar tres tendencias:

1. La HFC en la enseñanza de las ciencias es importante porque contribuye a la explicación de problemas históricamente determinados, cuya solución exige un cambio conceptual desde una teoría o concepto previo hasta una nueva reestructuración conceptual; además, con un análisis desde el punto de vista educativo, permitirá identificar aportes útiles para la enseñanza de este concepto; sin embargo, no dicen cómo realizar el desarrollo histórico de los conceptos de las disciplinas científicas (Saltiel & Viennot, 1985).
2. Describieron cronológicamente el concepto homeostasis y determinaron que este se ha construido históricamente a través de los aportes de diferentes hombres de ciencia como Claude Bernard (1813-1878) y Walter Cannon (1871-1945) (Novak, 1982; Peña, 2004; Mayoral, 2008).
3. Finalmente, el trabajo de Sauvageot-Skibine (1993) muestra una construcción histórica previa al planteamiento de la noción de medio interno propuesto por Bernard, pero no se centra en la noción de medio interno planteado por Bernard que luego da paso a la construcción del concepto homeostasis.

Estas tendencias ponen de manifiesto que, aunque se han realizado estudios sobre el desarrollo histórico de la homeostasis, el esfuerzo por brindar aportes para su enseñanza ha sido escaso, por lo tanto, es fundamental plantear la pregunta ¿qué aportes para la enseñanza del concepto homeostasis se derivan del estudio de su desarrollo histórico?

3.2 La función complementaria de la historia y filosofía de las ciencias para la enseñanza de las ciencias

En los últimos años se han llevado a cabo diversas investigaciones en didáctica de las ciencias en las cuales se destaca la relevancia de utilizar la HFC, ya que a través de ella se ha logrado recuperar aspectos olvidados (preguntas, hechos científicos, instrumentos, experimentos) que permitieron el desarrollo del conocimiento científico y que, desde una perspectiva educativa, pueden contribuir a desarrollar en los profesores de ciencias el pensamiento crítico que influirá en la selección, secuenciación y organización de los contenidos científicos para su correspondiente enseñanza (Quintanilla, 2006; Cuéllar, Quintanilla, & Camacho, 2008; Cabrera & García, 2014).

Los aportes anteriores permiten determinar que la HFC cumple una función complementaria para la enseñanza de las ciencias, ya que le permite al profesorado construir conocimiento de y sobre la ciencia donde se articula el pensamiento, la acción y el lenguaje. Estos serán posteriormente incorporados en el diseño, aplicación y evaluación de sus propuestas de actividades, que difieren de la manera como tradicionalmente se ha llevado a cabo el proceso de enseñanza de conceptos descontextualizados.

En este sentido, se espera que los aportes que se presentan más adelante sean objeto de reflexión y análisis por parte de los profesores que están iniciando su formación o de aquellos que están en ejercicio.

3.3 El campo conceptual de la homeostasis

Según Ville (1986), Curtis (1994) y Audesirk & Audesirk (1997), la homeostasis funciona a través del mecanismo de retroalimentación negativa, cuya respuesta tiende a contrarrestar un cambio que se presenta en el ambiente interno de los organismos que lo afecte de forma negativa y a restablecer y mantener las condiciones adecuadas. La retroalimentación positiva es aquella que, al presentarse un cambio en el medio interno, inicia una respuesta que intensifica ese cambio; en lugar de volver inmediatamente las condiciones al punto de referencia, esta produce cambios bajo circunstancias controladas para lograr un fin específico.

Algunos factores externos como el aire demasiado frío, demasiado caliente o demasiado seco, el agua muy salada o con insuficiencia de sal, perturban el ambiente interno y es aquí donde el proceso de homeostasis tiene sentido, ya que este lo mantiene en equilibrio en la medida que todos los sistemas (nervioso, respiratorio, endocrino, circulatorio, excretor, inmunológico, urinario) trabajan en conjunto. Por ejemplo, la sangre ayuda a mantener la temperatura corporal; los riñones se encargan de mantener la composición química de los líquidos corporales en equilibrio; el sistema nervioso de llevar a cabo respuestas rápidas frente a cualquier estímulo, mediante la ayuda de las diferentes proteínas que se encuentran en el organismo y mediante diversos mecanismos como absorción captación celular; así puede llevar a cabo la regulación del hierro en la sangre (Pérez, Vittori, Pregi, Garbossa, & Nesse, 2005; De Gortari & Joseph-Bravo, 2009).

En relación con el sistema nervioso y el sistema endocrino, estos participan en la homeostasis como mecanismos de regulación y control frente a cambios internos y externos. El sistema nervioso da la respuesta inicial, rápida y corta frente al estímulo, y el sistema endocrino lleva a cabo una respuesta más lenta, pero de mayor duración. En el caso del sistema nervioso los neurotransmisores ejecutan la respuesta a través del espacio intersináptico, mientras que las hormonas a través de la sangre ejecutan la respuesta del sistema endocrino. De esta forma participan en el mantenimiento de las condiciones y regulación del equilibrio en el medio interno.

La homeostasis disminuye con la edad y es debilitada por la enfermedad, la prolongada exposición a fenómenos climáticos adversos, la actividad física vigorosa y la tensión emocional. Las perturbaciones más comunes de la homeostasis ocurren durante el ejercicio extenuante, en especial en un día caluroso. La química corporal se perturba cuando muchos iones se pierden por el sudor. También se debe tener en cuenta que nuestra capacidad para mantener la homeostasis se ve reflejada en nuestra salud, sobre esto se puede decir que un médico evalúa todos los aspectos conceptuales de la homeostasis durante un examen físico como una prueba sangre.

3.4 Aspectos metodológicos y procedimentales

Orientados por el propósito de determinar aportes para la enseñanza del concepto homeostasis derivados del estudio de su desarrollo histórico, la investigación se adscribió a un enfoque descriptivo dentro de la metodología cualitativa (Hernández, Fernández-Collado, & Baptista, 2008). La muestra estuvo conformada por principalmente por el TCH *Introducción al estudio de la medicina experimental* de Claude Bernard (2006 [1865]) y el TCH “Organization for physiological homeostasis” de Walter Cannon (1929), quienes contribuyeron en la construcción de dicho concepto.

El procedimiento para llevar a cabo el desarrollo histórico del concepto homeostasis tuvo en cuenta la formulación de preguntas orientadoras que sirvieron como criterios de análisis (Cabrera, 2010; Zuluaga, 2010). Las preguntas que permitieron construir un panorama histórico fueron: ¿cuál fue la primera noción que hizo referencia al concepto homeostasis?, ¿cómo fue la transición de la noción de medio interno al concepto homeostasis?, ¿cómo se consolidó el concepto homeostasis?

3.5 Resultados

Para facilitar la presentación de este desarrollo histórico tendremos en cuenta los cuatro momentos identificados por Hernández (2011): 1. Secreción interna: La primera noción que hizo referencia al concepto homeostasis. 2. La transición de la noción de secreción interna a la noción de medio interno. 3. La transición de la noción de medio interno a la homeostasis. 4. La homeostasis.

3.6 Secreción interna: La primera noción que hizo referencia al concepto homeostasis

La primera noción que hizo referencia al concepto homeostasis fue *secreción interna*, acuñada por Claude Bernard. Esta noción sirvió para comprender el ambiente interno de los organismos y para explicar cómo estos vuelcan líquidos como el líquido intersticial, la bilis, el jugo pancreático en el organismo; esta noción permitió establecer la relación entre órganos como el vaso, el hígado y las glándulas.

Para interpretar esta noción, Bernard (2006) realizó experimentos con conejos los cuales eran puestos en ayunas; posteriormente observaba la orina de algunos de ellos. En una ocasión notó que la orina de unos conejos era clara y ácida como la orina de los carnívoros, lo cual fue muy raro para él; esto le llevó a experimentar dejándolos en ayunas, luego dándole a comer carne. Como conclusión estableció que todos los herbívoros en ayunas se comportan como carnívoros. Esto permitió que Bernard entendiera que dentro de los organismos había algo que hacía que pasara esto a la orina de los conejos.

Para complementar la conclusión anterior, Bernard avanzó hacia la realización de bisecciones de animales como conejos y perros con el propósito de corroborar qué pasaba

en el interior con los animales (figura 1), dichos hallazgos permitieron comparar la coloración y textura de los órganos de herbívoros y carnívoros.

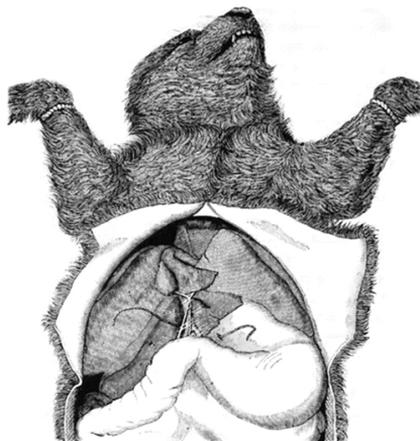


Figura 1. Bisección de un perro (Tomada de Bernard, 1879, pp. 372).

3.7 La transición de la noción de secreción interna a la noción de medio interno

Una pregunta importante en este momento fue ¿adónde van las secreciones internas de los organismos? Con ella Bernard logró concluir que hay algo en la sangre que recibe las secreciones internas del organismo; llamó a ese algo, *medio interno*.

El medio interno era un líquido que permitía mantener la estabilidad del organismo frente a factores externo e internos, como la temperatura y la nutrición de las células. Según Bernard, el medio interno es a las células lo que es a los peces el mar: es un líquido ideal para todas las reacciones y cambios químicos en el interior del organismo; debía contener aire, ácido carbónico, oxígeno y muchos otros elementos orgánicos; explicaba la regulación de la cantidad de agua en el organismo, la regulación de la temperatura corporal en conjunto con el sistema nervioso, y otras condiciones para el mantenimiento de la vida.

Por otra parte, la noción de medio interno explica parte de los líquidos que se presentan en el organismo y al exterior de las células. El estudio de los líquidos de los organismos fue de vital importancia para conocer el estado normal y el estado patológico de los organismos. Entre esos líquidos se encontraban los líquidos fisiológicos como el líquido amniótico. En la figura 2 se identifica un experimento en el cual Bernard estudiaba el feto de un ternero inmerso en líquido amniótico; logró identificar las conexiones existentes entre la ramificación de almidón de los vasos umbilicales, que representa la parte glandular de la placenta (a), con el pedículo de la alantoides (b) y de estos con los cotiledones (c y d) que representan la parte vascular de la placenta.

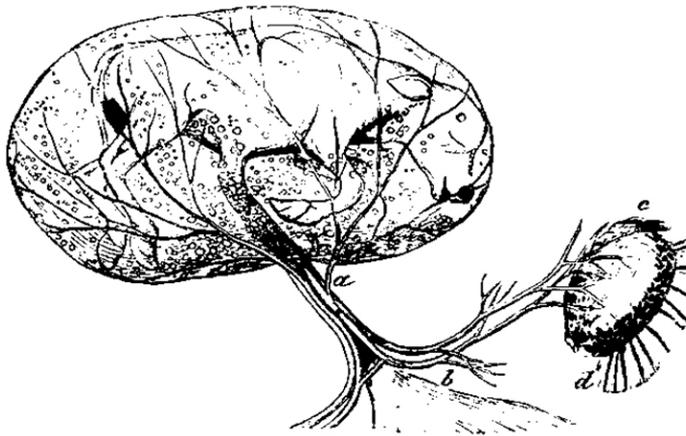


Figura 2. Feto de ternero en líquido amniótico (Tomada de Bernard, 1879, pp. 65).

3.8 La transición de la noción de medio interno a la homeostasis

El sujeto que aparece en escena es Cannon quien hizo una revisión de la literatura fisiológica del momento y logró identificar que algunos hombres de ciencia como Hipócrates (460 a. C.-370 a. C.), Eduard Pflüger (1829-1910) y Bernard habían realizado una serie de afirmaciones acerca de la estabilidad del organismo.

Al centrarse en la obra de Bernard, Cannon comprendió que este había desarrollado una teoría sobre el mantenimiento de la estabilidad del organismo a través de la noción de secreción interna y medio interno; sin embargo, identificó que Bernard no veía la relación existente entre dicha estabilidad con el medio interno de los sistemas del organismo, pero sí lograba establecer una relación con las cuatro causas vitales (agua, oxígeno, el calor y la composición química).

Debido a que Bernard no establecía la relación entre estabilidad y medio interno, pero sí hacía mención a que el sistema nervioso producía cierto mecanismo de regulación y estabilidad, y que, además, sostenía que cada órgano o sistema se encargaba de algún tipo de regulación, Cannon toma la noción de medio interno de Bernard y la aplica a su teoría de la estabilidad. Esta consiste en que todos los organismos mantienen un equilibrio interno respecto a factores externos e internos, como la temperatura, a través de cambios químicos o respuestas de los sistemas del organismo según sea el caso, logrando así formular el concepto homeostasis (Rodríguez de Romo, 1999, 2010).

3.9 La homeostasis

La consolidación del concepto de homeostasis, el cual Cannon explicó a través del funcionamiento de todo el organismo, le permitió argumentar que los diferentes sistemas poseen mecanismos que permitían mantener el medio interno relativamente constante. A este medio interno que fue tomado de Bernard, Cannon le dio el nombre de *fluido matriz*. A diferencia del primer momento, Cannon establece cómo se presenta la homeostasis en el organismo, mostrando las relaciones entre órganos y diferentes sistemas del organismo humano, ya no solo atribuye la homeostasis al fluido matriz.

Algunos aspectos que se deben tener en cuenta sobre la homeostasis es que el plasma y la linfa forman el medio interno, aunque primero se creía que solo el plasma de la sangre era el medio interno. En este concepto se encuentran relacionadas diferentes nociones como las de secreción interna, fluido matriz, y el trabajo de todos los sistemas del organismo para mantener un equilibrio interno.

3.10 Implicaciones para la enseñanza del concepto homeostasis

Las implicaciones están orientadas para que profesores en ejercicio o futuros profesores las utilicen y construyan propuestas de enseñanza más elaboradas y complementadas con otros aspectos inherentes al aprendizaje y la evaluación.

Al hacer el estudio del desarrollo histórico del concepto homeostasis se encuentra que este puede dividirse en cuatro momentos. En el primer momento se ubica la noción de medio interno; en el segundo momento se da la transición de la noción de secreción interna a la noción de medio interno; en el tercer momento se presenta la transición de la noción de medio interno a homeostasis; y en el cuarto momento se da la consolidación del concepto homeostasis. Los docentes en ejercicio pueden considerar estos momentos para la enseñanza del concepto homeostasis.

En el estudio del desarrollo histórico del concepto se notó que se presentaron a Bernard analogías, situaciones problemas a las que se enfrentaba. A partir de su modo de trabajo basado en experiencias para constatar sus ideas, los aspectos que derivaron del estudio del desarrollo histórico del concepto homeostasis fueron analogías, situaciones problemas y experiencias. A continuación, se caracteriza cada uno de estos y se incluyen solamente dos ejemplos por cada elemento encontrado.

3.11 Analogías para la enseñanza del concepto homeostasis

Las analogías son el punto de partida para la construcción de modelos mentales, ya que permiten construir el conocimiento útil y aplicable a partir del conocimiento cotidiano; además, son un elemento que permite la construcción de modelos que acercan la ciencia de los científicos al ámbito escolar. Se define una analogía como una comparación entre

dos dominios de conocimiento que mantienen una cierta relación de semejanza entre ellos; sirven para generar conflictos cognitivos; son dinámicas; y por lo general son parte de conversaciones cotidianas, son utilizadas con frecuencia por muchos profesores (Medina & Fernández, 2004; Linares, 2004, 2006; Orgill & Bodner, 2005).

Según Raviolo (2009, p. 55) “las analogías comprenden (a) una determinada cuestión desconocida o no familiar (objetivo, objeto), (b) una cuestión conocida (análogo, base) que resulta familiar para el sujeto que intenta aprender y (c) un conjunto de relaciones que se establecen entre (a) y (b) o serie de procesos de correspondencia entre los componentes de ambos. Además, existen atributos no compartidos que constituyen las limitaciones de la analogía”.

En función de lo anterior y teniendo en cuenta el propósito de este documento, los dos ejemplos que pueden ser utilizados son los siguientes:

Analogía 1: El mar/ medio interno

Al igual que los organismos están rodeados de un medio externo, como el aire, o el mar en el caso de los peces, las células están rodeadas por un medio, al que se le llama medio interno. Se puede establecer la siguiente relación:

El mar es para los peces lo que es el medio interno para las células del organismo humano. En el mar se encuentran los nutrientes necesarios para que los peces puedan alimentarse; el medio interno es donde se encuentran los nutrientes para que las células puedan sobrevivir, el mar provee del oxígeno necesario para que los peces respiren, en el medio interno se encuentra el oxígeno para ser utilizado por las células en el proceso de la respiración. Cuando hay un desequilibrio en la concentración de sustancias en el mar, como sucede cuando se derrama petróleo, los peces tienden a morir; al igual cuando las sustancias que se encuentran en el medio interno están en desequilibrio, como por ejemplo una concentración excesiva de sales, las células tienden a deshidratarse y morir.

Analogía 2: Carretera/Sistema de transporte

Todos los organismos necesitan un sistema de transporte (medio interno) para mantener las condiciones del medio interno y la estabilidad del organismo constante. La carretera funciona como ese sistema de transporte, los vehículos que se encuentran en la carretera transportan pasajeros, comida o elementos que a diario utiliza la sociedad. Esos vehículos son como los nutrientes que necesitan nuestra sociedad interna, que son las células. Estos elementos son enviados desde supermercados, fábricas, colegios, para que lleguen por medio de la carretera a un destino que puede ser una residencia. En el organismo esas fábricas, colegios o supermercados son los diferentes sistemas y órganos, que envían sus secreciones al medio interno para que llegue a las células (casas).

Cuando la carretera falla, los elementos que utiliza la sociedad pueden tardar en llegar, provocándose un malestar. Cuando el sistema de transporte de nuestro organismo, falla

los nutrientes y elementos necesarios para la vida tardan en llegar a las células, provocando enfermedad e, incluso, la muerte de las células.

3.12 Situaciones problema para la enseñanza del concepto homeostasis

Las situaciones problema también son estrategias didácticas que deben crear la necesidad cognoscitiva en los estudiantes para motivarlo y prepararlo para la adquisición de los nuevos conocimientos. Esta estrategia didáctica debe cumplir con una serie de criterios como tener utilidad y originalidad, no presentar una respuesta inmediata, favorecer la comprensión conceptual y procedimental en la enseñanza, ayudar a generar procesos de autorregulación y metacognición, permitir la comunicación escrita, el debate, incentivar procesos de investigación en estudiantes (Sánchez, Escudero, & Massa, 2001; Fernández, Medina, & Elórtogui, 2003; Soubiron, 2005; Martínez & Ibáñez, 2006; Seferian, 2010). Al igual que en el apartado anterior, a continuación, se mencionan dos ejemplos:

Situación problema 1

El organismo utiliza diferentes mecanismos para indicar cuándo se necesitan nutrientes, agua, azúcar y vitaminas para mantener la estabilidad y un equilibrio interno constante, por lo tanto, es necesario preguntar:

- ¿Conoces alguno de esos mecanismos?
- ¿Cuáles efectos se producen por la ausencia de vitaminas en el organismo?
- ¿De qué manera una persona puede evaluar los requerimientos de los niveles de azúcar necesarios para su organismo?

Situación problema 2

Los seres humanos necesitan mantener un equilibrio interno constante respecto a su medio, interno y externo; cuando una persona tiene fiebre ese equilibrio ha sido perturbado, en ocasiones, puede deberse a una infección provocada por un microorganismo (bacterias o virus). Si te dijeran que una persona tiene fiebre por falta de agua en su interior, ¿qué relación hay entre el agua en el interior del organismo y la fiebre?

- ¿Por qué cuando se tiene fiebre el cuerpo comienza a sudar?
- ¿Por qué la falta de agua en el interior del organismo puede provocar la deshidratación de las células?

3.13 Experiencias para la enseñanza del concepto homeostasis

Otro de los elementos identificados para la enseñanza de la homeostasis son las denominadas experiencias, las cuales son definidas por Caamaño (2011, p. 145) como aquellas que sirven para familiarizarse con los fenómenos, ilustrar principios o dar oportunidad para predecir y explicarlos. Dentro de esta se incluyen las *experiencias perceptivas*, que sirven para percibir los fenómenos y es de carácter cualitativo; las

experiencias ilustrativas, orientadas hacia la ilustración de principios o relaciones entre variables; y las *experiencias interpretativas*, que promueven la interpretación de los fenómenos observados.

Los dos ejemplos que se incluyen dentro de este elemento son:

Experiencia 1

Imaginemos que tenemos dos conejos a los cuales denominamos Sujeto 1 (S1) y Sujeto 2 (S2). Al S1 lo alimentamos con pasto, y al S2 le damos carne durante un tiempo previamente establecido. Después de este proceso es pertinente preguntar a los estudiantes: ¿qué les pasara al S1 y al S2?, ¿de qué manera se podría identificar externamente los cambios producidos por la forma de alimentación de S1 y S2?

Experiencia 2

Se les indica a los estudiantes que esta experiencia es de tipo mental²⁷ y por ello se requiere que escriban la mayor cantidad de ideas posibles. Después se les dice que, si tenemos un animal o una persona que presenta una pequeña laceración que provoque salida de sangre del individuo, luego de transcurrir el tiempo esta se empieza a cerrar cuando la sangre comienza a coagularse. ¿Por qué crees que se coagula la sangre al cabo de un tiempo?

3.14 Consideraciones finales

Este trabajo tuvo como propósito dar aportes para la enseñanza de la homeostasis provenientes de la HFC; entre lo que se encontró se puede decir que el desarrollo histórico de la homeostasis transcurre a través de cuatro momentos donde se identifican las nociones de secreción interna, que fue la primera noción que hizo referencia al concepto homeostasis; la noción de medio interno, que explicaba adónde se dirigían las secreciones internas y cómo se mantenía la estabilidad en el organismo, y finalmente, la homeostasis que explicaba como todos los sistemas interactúan para mantener el equilibrio interno del organismo.

También se destaca que es pertinente conocer los momentos por los cuales atravesó el concepto homeostasis porque pueden ser apropiados por el profesor investigador con fines educativos; le servirán para superar la visión ahistórica y pasar a mostrar cómo dicho concepto ha evolucionado no de forma lineal sino discontinua a través del tiempo.

La homeostasis es un campo conceptual fundamental dentro del conocimiento biológico, ya que incluye una amplia red de conceptos como: hormona, inmunología, presión osmótica, temperatura, entre otros. Como nuestro interés está focalizado en establecer aportes para que el profesorado lo utilice en la enseñanza, es significativo formular las siguientes preguntas para que todos los participantes del sistema educativo las utilicen de referencia para establecer la socialización: ¿cómo funciona la homeostasis?, ¿qué

²⁷ Una experiencia mental debe comprenderse como aquella mediante la cual los estudiantes deben usar su imaginación y creatividad hasta llegar a la construcción de la situación formulada.

situaciones dan sentido a la homeostasis?, ¿por qué la homeostasis es importante para los organismos?, ¿cuál es la relación entre la homeostasis y los diferentes sistemas del organismo humano?, ¿por qué la célula necesita permanecer en condiciones hemostáticas adecuadas?, ¿qué aspectos sobre el mantenimiento de la homeostasis se deberían tener en cuenta?

Finalmente, los elementos como las analogías, situaciones problema y experiencias para la enseñanza de la homeostasis pueden ser utilizados por los profesores para el diseño y puesta en práctica de propuestas de enseñanza que permita a los estudiantes la comprensión del funcionamiento del organismo y, sobre todo, para que establezcan la relación entre los diferentes sistemas del mismo.

Referencias

- Ayala, M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-Posições*, 17(1), 19-37.
- Abreu de Andrede, V., Maximo Pereira, M., Cremonini de Araújo-Jorge, T., & Coutinho Silva, R. (2015). El uso de un organizador previo en la enseñanza de Inmunología. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 12(1), 38-54.
- Audesirk, T. & Audesirk, G. (1997). *La vida en la tierra* (4ª ed.). México, DF: Prentice-Hall Hispanoamericana.
- Bernard, C. (2006). *Introducción al estudio de la medicina experimental*. Madrid, España: Grupo Planeta.
- Bernard, C. (1879). *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux* (vol II). Paris, France: Libraire J-B Bailliere et Fils.
- Caamaño, A. (2011). *Didáctica de la física y la química*. Barcelona, España: Editorial Graó.
- Cabrera, H. G. (2010). *Elementos históricos epistemológicos desde Kuhn que permiten la identificación de aportes para la enseñanza de la combustión* (Tesis de magíster en educación. Universidad del Valle, CA).
- Cabrera, H. G. & García, E. G. (2014). Historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias: el caso de la reacción química. *Revista Brasileira de História Da Ciência*, 7(2), 298-313.
- Cabrera, H. G. & Quintanilla, M. (2014). Un análisis de la estructura de dos experimentos asociados a la combustión: algunas implicaciones para la formación inicial docente. En M. Quintanilla, S. Daza, & H. G. Cabrera (Eds.), *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva aula de ciencias, promotora de ciudadanía y valores* (pp. 202–216). Bogotá, Colombia: Belaterra.
- Campanario, J. M. & Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 179-192.
- Cannon, W. (1929). Organization for physiological homeostasis. The laboratories of physiology in the Harvard Medical School. *Physiological Review*, IX(3), 399-431
- Cartwright, J. (2000). *Del flogisto al oxígeno: estudio de un caso práctico en la revolución química*. Tenerife, España; Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia. Calvario.
- Carrillo, L., Morales, C., Pezoa, V., & Camacho, J. (2011). La historia de la ciencia en la enseñanza de la célula. *Técne, Episteme y Didaxis*, 29, 112-127.
- 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 Ciencia I Ensenyament*, 1(2), 109-117. doi:10.2436/20.2006.01.64
- Curtis, H. (1994). *Biología* (5ª ed.). Editora Panamericana Médica.

- De Gortari, P. & Joseph-Bravo, P. (2009). Las neuronas TRHérgicas como reguladores de la homeostasis energética. *Medicina Universitaria*, 11(42), 36-43.
- Fernández I., Gil D., Carrascosa J., Cachapuz A., & Praia J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477-488.
- Fernández, G., Medina, P., & Elórtégui, E. (2003). Enseñar a profesores de secundaria con situaciones problemáticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 2(3), 263-270.
- Hernández, G. M. (2011). *Elementos para la enseñanza del concepto Homeostasis presentes desde el estudio de su desarrollo histórico* (Trabajo de grado para optar al título de licenciado. Universidad del Valle).
- Hernández, R., Fernández-Collado, C., & Baptista, P. (2008). *Metodología de la investigación* (4ª ed.). México, DF: McGraw-Hill.
- Linares, R. (2004). *Elemento, átomo y sustancia simple. Una reflexión a partir de la enseñanza de la Tabla Periódica en los cursos generales de Química* (Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España).
- Linares, R. (2006). El uso de las analogías en los cursos del departamento de química de la Universidad del Valle. *Revista Educación y Pedagogía*, XVIII(45), 133-139.
- Matthews, M. R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las ciencias*, 12(2), 255-277.
- Mayoral, N. L. (2008). *La iconicidad en la construcción del concepto homeostasis en el organismo humano* (Tesis Doctoral).
- Martínez, A. M. M. & Ibáñez O. M. T. (2006). Resolver situaciones problemáticas en genética para modificar las actitudes relacionadas con la ciencia analogías. *Enseñanza de las ciencias*, 24(2), 193-206.
- Medina, M. & Fernández, J. (2004). Analogías de uso frecuente en la enseñanza de la Biología. *XXI Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, San Sebastián.
- Novak, J. D. (1982). *Teoría y Práctica de la Educación*. Madrid, España: Alianza Universidad.
- Orgill, M. K. & Bodner, G. (2005). Qué nos dice la investigación acerca del uso de analogías para enseñar química: investigación y práctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(1), 115-117.
- Paz, P. H. (2008). Visiones deformadas de la ciencia y la enseñanza-aprendizaje de conceptos científicos. Crítica a prólogos de textos-guía de comunicaciones electrónicas digitales. *Revista Universidad EAFIT*, 44(149), 23-37.
- Peña, J. A. (2004). *Homeostasis y constantes fisiológicas*. Santiago, República Dominicana: Área Ciencias Fisiológicas, Departamento de Medicina, PUCMM.
- Pérez, G., Vittori, D., Pregi, N., Garbossa G., & Nesse, A. (2005). Homeostasis del hierro. Mecanismo de absorción, captación celular y regulación. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 39(3), 301-314.
- Quintanilla, M. (2006). La emergencia de la historia de la química en la formación del profesorado. En *X Encuentros de Educación Química* (pp. 1-3).
- Rodríguez de Romo, A. (1999). C. Bernard and Pancreatic Function revisited after 150 years. *Vesalius*, 1, 18-24.
- Rodríguez de Romo, A. (2010). The milieu intérieur: The Importance of Equilibrium for Our Body. Regulating the Organism is Indeed the Central Problem of Physiology. Documento Inédito de la autora próxima a publicar.
- Raviolo, A. (2009). Modelos, analogías y metáforas en la enseñanza de la química. *Educación Química*, 20(1), 55-60.
- Saltiel, E. & Viennot, L. (1985). ¿Que aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontaneo de los estudiantes? *Enseñanza de las ciencias*, 3(2), 137-144.

- Sauvageot-Skibine, M. (1993). De la représentation en tuyaux au concept de milieu intérieur. *Aster*, 17, 189-204.
- Sánchez, M., Escudero C., & Massa, M. (2001). *Modelos de situaciones problemáticas propuestos en los textos escolares de biología*. Trabajo presentado en VI Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, Barcelona, España.
- Seferian, A. E. (2010). Situaciones problemáticas de Química diseñadas como pequeñas investigaciones en la escuela secundaria desde un encuadre heurístico a partir de una situación fortuita que involucra reacciones ácido-base. *Educación química*, 21(3), 254-259.
- Soubiron, E. (2005). *Las situaciones problemáticas experimentables (SPE) como alternativa metodológica en el aula*. Unidad Académica de Educación Química.
- Villee, C. A. (1986). *Biología* (4ª ed.). México, DF: Nueva editorial Interamericana.
- Zuluaga, C. H. (2010). *Historia y epistemología de la química en la selección y secuenciación de contenidos: la construcción del concepto de átomo* (Tesis de magister, Universidad del Valle).

CAPÍTULO 4

La inclusión de la historia de la ciencia en la enseñanza de la química. Una propuesta para la formación profesional docente²⁸

Luigi Cuéllar Fernández, Doctor en Ciencias de la Educación
Departamento de Didáctica, Facultad de Educación
U. Católica de la Santísima Concepción – UCSC. Concepción,
lcuellar@ucsc.cl

Contenidos

Resumen

4.1 Introducción

4.2 La historia de la ciencia y su inclusión en el aula

4.3 Una aproximación inicial en torno a la historia de la ciencia

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

4.5 Desarrollo de la investigación

4.6 La historia de la ciencia en los libros de texto

4.7 La historia de la ciencia en la enseñanza: una mirada desde el punto de vista de profesores en formación

4.8 La historia de la ciencia como recurso para la enseñanza: el pensamiento de los profesores de química en ejercicio

4.9 Algunas ideas para continuar el debate en torno a la importancia de la historia de la ciencia en el mejoramiento de la calidad de la educación

Referencias

Anexos

²⁸En este capítulo se presentan algunas directrices teóricas y metodológicas que serán desarrollados en el componente de formación metateórica del profesorado en el marco del Proyecto Fondecyt de Iniciación 11150509 “La formación del profesorado de ciencias en ejercicio, orientada en el desarrollo profesional docente y las comunidades de aprendizaje, y su aporte a la calidad de las competencias científicas escolares” 2015-2018, que dirige el autor del documento.

La inclusión de la historia de la ciencia en la enseñanza de la química. Una propuesta para la formación profesional docente

Resumen

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

4.1 Introducción

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

En el presente documento, que recoge algunas evidencias respecto a la importancia de la historia de la ciencia en los libros de texto, en la formación inicial del profesorado de ciencias y en la formación continua del profesorado de ciencias en ejercicio, se abordan una serie de planteamientos –teóricos y empíricos–, relacionados con los anteriores ámbitos. Frente a estos, la historia de la ciencia (en adelante HC) se ha convertido en un referente metateórico que promueve el diseño e implementación de nuevas propuestas de enseñanza de la química, que a su vez contribuyen al mejoramiento del discurso, la comunicación científica escolar, los procesos de formación de profesores y el aprendizaje de la química escolar por parte del estudiantado.

Se espera entonces que estos planteamientos continúen en la línea de los aportes empíricos, respecto de las relaciones entre la historia y la didáctica de la ciencia y los procesos de formación de profesores, inicial y continua, como también el análisis de los

libros de texto, frente a lo cual los estudios teóricos proponen ya algunas directrices. De manera particular, se pretende consolidar el planteamiento de que a través de la caracterización de los perfiles temáticos de reflexión (PTR) de los profesores de ciencias se puede comprender, de manera diferenciada y en profundidad, la paulatina y progresiva consolidación de una nueva forma de comprender y divulgar la química escolar. Esto a partir de: a) nuevas conceptualizaciones sobre la relación entre la historia y la naturaleza de la ciencia; b) nuevas propuestas de actividades de enseñanza de la química desde la inclusión de la HC en el aula; c) diversas posibilidades de inclusión de la HC como dispositivo orientador de su discurso profesional; y d) cuestionamiento y resignificación de la dimensión epistemológica de dicho discurso en las representaciones teóricas de los docentes.

4.2 La historia de la ciencia y su inclusión en el aula

Como se ha venido estableciendo en la línea de investigación en didáctica de las ciencias, referida a la importancia de la historia y la epistemología de la ciencia en la formación del profesorado y su inclusión en el aula de clase (Adúriz-Bravo, 2008; Izquierdo et al., 2006; Quintanilla, 2006; Cuéllar, Gallego, & Pérez, 2008), se hace necesario que la práctica profesional docente posibilite al estudiantado comprender el indudable carácter histórico de la química. Es decir, la idea de que el conocimiento científico no es estático, que la química como ciencia es dinámica y progresivamente mutable, que los conceptos, modelos y teorías científicas que constituyen el entramado de la química terminan siendo sustituidos por otros, y que los marcos ideológicos que fundamentan el conocimiento en cada época sufren igualmente un proceso de cambio conceptual o paradigmático natural, sistemático, continuo e irreversible, que puede ser comprendido a la luz de ciertos principios teóricos y caracterizado con criterios metodológicos específicos (Camacho & Cuéllar, 2007; Toulmin, 1977).

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

Al respecto, y para promover una reflexión en este sentido, hemos considerado que el componente histórico en la formación de los profesores de ciencias posibilita algunos objetivos relacionados con una mayor comprensión de la actividad científica, y así el fortalecimiento de su propio discurso químico: comprensión profunda de los significados de los modelos teóricos y sus conceptos asociados; posibilidad de establecer relaciones metateóricas con la filosofía y la sociología de la ciencia; vinculación de las disciplinas científicas y las humanidades; y valorar los modelos científicos vigentes en tanto construcciones teóricas sistemáticamente progresivas, desde una perspectiva naturalizada. De esta forma, no cabe duda del papel fundamental de la HC en la enseñanza de la química, la cual aporta hacia “una comprensión menos dogmática de la ciencia y de los métodos científicos, pudiendo actuar como antídoto contra la ortodoxia y el entusiasmo acrítico por la ciencia” (Kragh, 1989, p. 55).

4.3 Una aproximación inicial en torno a la historia de la ciencia

No obstante lo anterior, es imposible pensar en una simplicidad ingenua al hablar de la historia de la ciencia”, pues como se presenta brevemente a continuación, existen diversas posibilidades para interpretarla. Al respecto Kragh (1989) presenta un análisis interesante que permite identificar las diferentes valoraciones e interpretaciones que pueden atribuirse a la HC, según la época y la perspectiva desde la cual esta sea concebida.

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

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

Durante los siglos XVII y XVIII la palabra histórico no significaba lo mismo que hoy día. Así, un fenómeno histórico significaba frecuentemente un fenómeno concreto u objetivo, e historia significaba simplemente una relación de las condiciones objetivas, sin que fuera necesario que pertenecieran al pasado. El siglo XVIII, por su parte, se caracterizó por una tendencia antihistórica. La Ilustración veía la historia como un instrumento del progreso en su lucha contra el orden feudal; desde una perspectiva *presentista*, solo los desarrollos recientes merecían interés, mientras que el pasado se consideraba, por lo general, irracional e inferior. Este período se caracterizó por una falta de conciencia histórica, consecuencia de las ideas dominantes en torno al conocimiento, en particular a las ideas racionalistas de Descartes, para quien el conocimiento era puramente reflexivo y racional, una abstracción universal y ahistórica.

A finales del siglo XVIII, la corriente Romántica otorgaba un sentido más profundo a la historia basada en la idea de que al pasado se le debía juzgar según sus propias premisas y no bajo el pensamiento contemporáneo como habían hecho los ilustrados. Así se da un reconocimiento a lo que actualmente podemos considerar como *historiografía diacrónica*. No obstante, durante el siglo XIX, en períodos de progreso, consolidación y organización de la vida científica, se presentó un distanciamiento entre las ciencias naturales y las humanidades. El auge positivista de la ciencia de dicho siglo, sus seguidores, los métodos y las posibilidades hicieron ahistórica a la HC, considerando inequívocos y universales sus métodos. La perspectiva histórica se rechazó y el interés se centró entonces en la ciencia contemporánea y sus inmediatos predecesores, resaltando que la historia era una disciplina humanística, cuyos métodos y objetivos eran incompatibles con los de las ciencias naturales. Esta distinción hizo que se ignorara la HC, relegándola a los científicos y a los historiadores aficionados.

Para el análisis que nos interesa cabe resaltar que en esta época se escribió la HC a la luz de intereses patrióticos, para resaltar la ciencia de las naciones. Estas obras, en principio diseminadas, comenzaron a organizarse a principios del siglo XX, y fue así como la HC empezó a asentarse como una disciplina independiente, caracterizada por congresos y

conferencias internacionales, y por el establecimiento de sociedades nacionales para su estudio.

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

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

En relación con lo anterior, y específicamente en el campo de la investigación en didáctica de las ciencias experimentales, algunos autores (Izquierdo, 2000; Lires, 2007; García, 2009) consideran que una de las principales dificultades que se presenta en la enseñanza de la química, y que puede llegar a tener directa vinculación con los bajos resultados académicos de los estudiantes en esta área, es el carácter tradicionalmente transmisionista, algorítmico y absolutista, con el cual el profesor hace de esta disciplina el objeto de estudio en el aula. Por esta razón, se considera que la enseñanza de la química basada en una perspectiva histórica, en la que adquiere importancia el diseño de unidades didácticas que incorporen los aspectos involucrados en la génesis y evolución de los conceptos científicos, permitirá dimensionar el carácter problematizador de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en busca del cambio en la imagen de ciencia que generalmente se socializa en el aula y no contempla el propio proceso histórico del sujeto que aprende ciencias (Labarrere & Quintanilla, 2002).

Hay ya suficiente evidencia en la investigación en didáctica de las ciencias experimentales, de que la química es un proceso de constitución del saber erudito con dimensiones sociales, valóricas, políticas y culturales. Esta idea de formación y enseñanza de las ciencias naturales desde una orientación de ciudadanía y valores, permite releer y comprender de forma permanente marcos teóricos diversos para interpretar fenómenos científicos que hoy comprendemos bien, y que se explican mediante teorías vigentes, las cuales continúan evolucionando vertiginosamente. Esta perspectiva nos permite, además, conocer la relación entre la ciencia y la cultura de una época específica, analizando de esta forma la influencia de estas en el desarrollo y consolidación de una sociedad determinada que comparte unos valores que se resignifican sistemáticamente (Barona, 1994; Quintanilla, 2007; Solsona, 2007). Para dar una respuesta racional, razonable y coherente en este sentido, la hipótesis que sustentamos es que se plantee el origen histórico, controversial y polémico de las principales teorías de la química; se muestre el proceso de creación y desarrollo de los principales conceptos y metodologías científicas como fruto

de un trabajo colectivo y de una construcción humana, en la que hay intrigas, tensiones y distensiones; y se analice así la complejidad de las relaciones ciencia-tecnología-sociedad-comunicación (CTSC) a lo largo de la historia, con las implicaciones de transformación de los procesos sociales y de convivencia que ello ha generado para la comunidad científica en general y para la comunidad de los químicos en particular (Izquierdo et al., 2006).

Así pues es fundamental reconocer el papel del profesor como mediador entre la evolución histórica del conocimiento científico y el conocimiento científico escolar. Por esta razón se reconoce que la enseñanza de las ciencias y la formación docente han de considerar una resignificación de las bases que los sustentan, para así tratar de formular nuevas propuestas, como la inclusión de la HC en la formación del profesorado, tendientes a posibilitar una mayor participación del docente de química en la construcción de su propio conocimiento profesional y científico.

Como se ha podido establecer de forma introductoria, existen múltiples formas de entender la historia de la ciencia, motivo por el cual se hace también necesario que el docente identifique las posibles formas de comprenderla, no de manera genérica, lo cual implica que cada una de estas formas de HC le hace situarse de forma específica y plantear actividades intencionadas, que incluso pueden perseguir objetivos diferentes en el interior del aula.

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

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

4.5 Desarrollo de la investigación

Sobre la base de los referentes teóricos presentados anteriormente, se ha propuesto como propósito caracterizar diversos factores asociados a la eventual inclusión de la historia de la ciencia en la práctica escolar. Para ello, y de manera diferenciada, se realizó una revisión preliminar del papel de la historia de la ciencia en los libros de texto, reconociendo su utilización en el aula como principal referente del profesor, así como también dos investigaciones sobre el pensamiento del profesorado en formación acerca de las ventajas o dificultades de una eventual inclusión de la historia de la ciencia en el diseño de unidades didácticas, y el pensamiento del profesorado en ejercicio, en relación con los resultados de la inclusión de la historia de la ciencia en su práctica profesional de aula.

4.6 La historia de la ciencia en los libros de texto

Desde hace ya varios años el estudio sobre los libros de texto ha incorporado análisis didácticos e histórico-epistemológicos (Gándara & Sanmartí, 2002; Jiménez & Perales, 2002; Níaz, 1998; Muñoz y Bertomeu, 2003; Farías, 2012), y a partir de ello se han venido reportando importantes hallazgos relacionados con las teorías o modelos científicos que son socializados en el aula, por parte de profesores y estudiantes, y de las distintas perspectivas desde las cuales son interpretados.

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

De manera análoga, Farías (2012) ha establecido que los libros de texto de química presentan una imagen de la ciencia desconectada de otros contextos, incluido el científico, lo mismo que una imagen de la actividad científica caracterizada por descubrimientos aislados producto del trabajo individual, a partir de lo cual se ofrece una representación de la ciencia que no revela lo que conlleva el trabajo científico.

Lo anterior, y como ha sido ya establecido por Quintanilla et al. (2007), a partir de estudios similares en torno a la importancia de la historia y la epistemología en la enseñanza, enfatiza la necesidad de que el profesorado de ciencias disponga de nuevos elementos teóricos y metodológicos para fundamentar una posición epistemológica frente a filogénesis y ontogénesis del conocimiento científico, que habitualmente se transmite en el aula y que es presentado de manera dogmática en los libros de texto de ciencias.

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

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

4.7 La historia de la ciencia en la enseñanza: una mirada desde el punto de vista de profesores en formación

Como se señaló anteriormente, además del saber presentado en los libros de texto de ciencias, es fundamental el discurso del profesor de ciencias que comunica dicho saber, tendiente a unas nuevas finalidades educativas. Al respecto, está bien fundamentada la importancia de la historia de la ciencia como disciplina metateórica en la formación de profesores (Quintanilla, Izquierdo, & Adúriz-Bravo, 2005; Matthews, 1994), y su importancia como una estrategia de reflexión, análisis e interpretación de sucesos que los estudiantes pueden aprender a modelizar, partiendo de la base de que el profesorado consolide una nueva imagen, racionalista moderada, de la química escolar.

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

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

En este campo particular de la formación inicial del profesorado de ciencias y la importancia otorgada a la inclusión de la HC en la enseñanza, se ha realizado una investigación, con participación de 74 estudiantes (dos secciones del curso Didáctica de las Ciencias), de IV año de formación como Profesores de Educación General Básica. El enfoque metodológico consideró cinco fases, orientadas a: a) la caracterización de las concepciones sobre la historia y la naturaleza de la ciencia; b) la identificación y análisis de orientaciones teóricas que fundamentan los libros de texto y unidades didácticas; c) la elaboración de material inédito; d) el análisis y determinación de la coherencia de las fases anteriores; y, finalmente, e) el pensamiento del profesorado en formación (Cuéllar, Quintanilla, & Marzábal, 2010).

En la fase I, se ha tomado registro de las concepciones que los profesores en formación tienen acerca de la naturaleza de la ciencia (NC) y de la historia de la ciencia (HC); para esto se ha utilizado un instrumento tipo Likert²⁹, a partir del cual se puso especial énfasis en estas dos dimensiones, HC y NC. En la fase II se trabajaron los contenidos científicos relacionados con la teoría atómica, la cual fue abordada desde referentes teóricos correspondientes a dos perspectivas diferentes: la perspectiva teórica (PT) y la perspectiva histórica de la ciencia (PH). Para cada uno de estos dos referentes se incluyó la presentación temática del contenido y sus conceptos asociados, diversas actividades de enseñanza y planteamiento de preguntas, de manera diferenciada, correspondientes a la naturaleza de cada perspectiva. En la fase III se elaboró material bibliográfico, por parte de los profesores en formación, a modo de unidades didácticas para el abordaje de los contenidos científicos relacionados con la ley periódica, los cuales serían utilizados en sus

²⁹Este cuestionario es parte del proyecto de investigación Fondecyt 1070795, dirigido por el Dr. Mario Quintanilla.

propias prácticas profesionales. En este punto, fase IV, se hizo el análisis correspondiente a la información recabada en las fases anteriores, con el fin de determinar la coherencia o no, y sus causas, con lo que inicialmente se consideró como aportador de cada una de las perspectivas de abordaje del conocimiento trabajadas y a las cuales hicieron adscripción.

A partir de los resultados obtenidos, se consideró pertinente adelantar una fase V, que consistió en una entrevista semiestructurada, realizada a algunos de los participantes. Se tuvo en cuenta que estuvieran representados todos los posicionamientos encontrados, es decir, aquellos en los que se mantuvo coherencia en cualquiera de las tendencias, PT o PH, y aquellos en los que hubo cambios en estas perspectivas, con el fin de indagar en profundidad acerca de las razones por las cuales los profesores en formación habían producido su material bibliográfico desde perspectivas específicas.

En relación con la fase I, que hace referencia a las concepciones que tienen los profesores en formación en torno a la naturaleza de la actividad científica, se pudo caracterizar que se configuran tres modelos de ciencia: uno tradicional, uno de ciencia como construcción social, y uno híbrido –de transición– entre los dos. Esto pudo establecerse a partir de la manifestación explícita que denota una coexistencia de diversas formas de concebir la naturaleza de la actividad científica (ver tabla 1), lo cual se establece en relación con que un gran número de profesores en formación siguen teniendo una visión tradicional de la ciencia, aunque también aparece una evolución hacia una visión más social que todavía no está consolidada.

Tabla 1

Categorización de las respuestas de los participantes en torno a la dimensión naturaleza de la ciencia

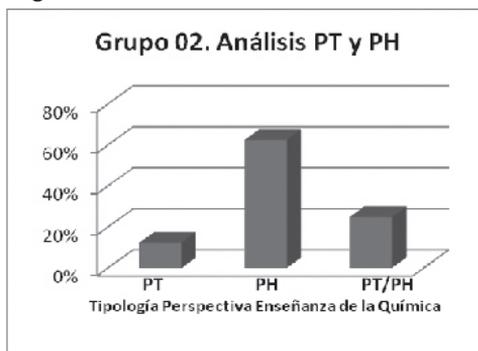
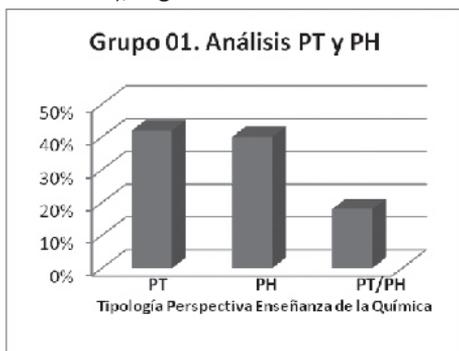
Modelo de ciencia	Caracterización
Tradicional 60%	Se concibe la actividad científica ligada a un método científico, como una estructura cerrada que no permite usar la creatividad, al servicio de una ciencia objetiva y estática.
Construcción social 10%	Se concibe la ciencia como una actividad que recurre a una metodología de investigación, que permite usar la creatividad, con alto grado de subjetividad. Se considera que el profesor debe adoptar un modelo de ciencia y de enseñanza fundamentados teóricamente.
Híbrido o de transición 30%	Parece claro que se alejan de la visión tradicional de la ciencia, pero tienen muchas incoherencias en sus planteamientos, o bien preguntas sin responder, lo que se podría interpretar como una falta de reflexión al respecto.

En lo referido a la dimensión historia de la ciencia, se observó una mayor homogeneidad en cuanto a la opinión de los participantes del estudio, ya que para una amplia mayoría la historia de las ciencias en la enseñanza puede tener múltiples utilidades y ventajas. Parece

que en cierto modo la historia de la ciencia puede mejorar la comprensión de los alumnos, hacer que el aprendizaje sea más significativo y que se tenga una visión más humana de la ciencia y de su avance. No obstante lo anterior, hay dos aspectos que llaman la atención:

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

Con relación a la fase II, en la cual se presentaba el contenido “teoría atómica” desde dos perspectivas teóricas diferentes: una tradicional (PT) basada en lo que se divulga en los libros de química habitualmente utilizados en el curso precedente de su formación inicial (ciencias naturales II), y otra con una perspectiva histórica (PH) en el abordaje de los contenidos químicos. Se pudo establecer que los dos grupos, que presentan una formación teórica antecedente similar (pues pertenecen al mismo programa de formación), registraron resultados diferentes, según se muestra a continuación:

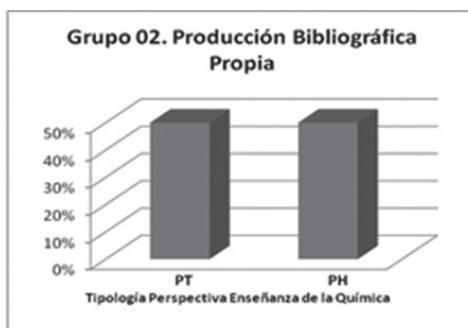
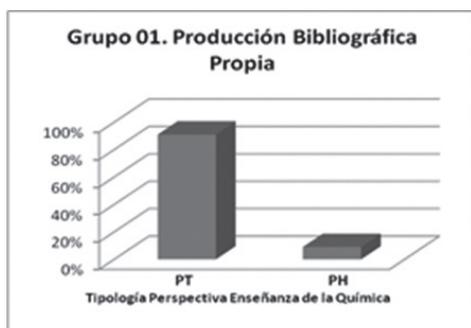


Fase 2. Adscripción de los profesores en formación a cada una de las perspectivas de abordaje de la química, consideradas en este estudio (PT y PH).

En el grupo 01 es interesante observar cómo al momento de manifestar posicionamiento frente a una de las dos posturas (PT o PH), se encontró que existía cierta equivalencia: 42% inclinado a la PT y 40% a la PH. Hubo un número importante de estudiantes, 18%, que manifestaron las ventajas de incorporar ambas perspectivas en el material de enseñanza de la química.

En el grupo 02, se establece que el 12,5% se inclinaba hacia la PT, 62.5% de los estudiantes lo hacía por la PH, y 25% consideraba que ambas perspectivas deberían estar presentes en la elaboración del material de enseñanza de la química.

En lo que respecta a la fase III, y la propia producción de material bibliográfico, en relación con el contenido “ley periódica”, en la que se propuso diseñar una unidad didáctica para el abordaje de esta temática, cabe resaltar que es el momento en el cual empiezan a develarse las profundas inconsistencias que fueron detectadas en la primera fase de este estudio.



Fase 3. Elaboración de material bibliográfico inédito, contenido temático Ley periódica.

Sobre los estudiantes pertenecientes al Grupo 01, en la elaboración de sus unidades didácticas, relacionadas con la ley periódica, el 91% de ellos optó por la perspectiva tradicional-teórica (PT), y solo el 9% mantuvo intenciones de abordar de forma explícita el componente histórico en el abordaje del tema. Vale decir que de forma intencionada hubo que considerar en este punto la mención de una perspectiva biográfica³⁰ de la ciencia como la perspectiva histórica, ya que esto fue lo que se encontró en las producciones de los profesores en formación en ambos grupos.

Con respecto al Grupo 02, el 50% de los participantes se enfocaron por la perspectiva tradicional-teórica (PT), y el restante 50% lo hizo por la perspectiva histórica (PH) (la mencionada en el párrafo anterior). Aquellos estudiantes que habían señalado la importancia de presentar ambas perspectivas no fueron consecuentes con su pensamiento en torno a ello.

³⁰Puede establecerse que la perspectiva biográfica es una de las múltiples formas en que la historia de la ciencia puede ser incorporada en la sala de clase. En relación con su pertinencia o no, puede consultarse bibliografía especializada (Kragh, 1989; Izquierdo et al., 2006; Cuéllar, 2010), pues este no es el objeto principal de este estudio.

En este punto correspondiente a la fase IV, de análisis y determinación de las relaciones encontradas hasta ahora en las fases anteriores, a manera de síntesis de lo comentado en los párrafos precedentes presentamos las siguientes gráficas:

Grupo 01. Comparación entre lo declarado en la fase II y la producción de material en la fase III.



Se puede observar que para los estudiantes de este Grupo 01 del estudio, hubo un gran aumento hacia la producción de material con base en una PT. De la misma forma, entre aquellos que habían declarado ventajas a la inclusión de la PH en el material de enseñanza, al momento de elaborar su propio material lo hicieron sin tener en cuenta esta PH. Por su parte, el grupo que había señalado ventajas de trabajar en forma paralela las dos perspectivas (PT y PH) optó por hacer su propio material desde la PT, evidenciado esto en el aumento de estas producciones al 91% del total del Grupo 01.

Grupo 02. Comparación entre lo declarado en la fase II y la producción de material en la fase III:



De forma análoga a lo observado en el grupo anterior, los estudiantes del Grupo 02, que manifestaron inicialmente poca inclinación hacia la PT, cuando elaboraron su propio material lo hicieron teniendo en cuenta preferentemente esta PT. Aquellos estudiantes que hallaban pertinente la PH en la enseñanza de los contenidos científicos fueron más consecuentes con ello, lo cual se vio reflejado en sus propias producciones. Sin embargo, y como sucedió con el Grupo 01, los estudiantes del Grupo 02 que habían manifestado

ventajas en el abordaje de las PT y PH de forma paralela, han optado únicamente por la PT en la elaboración de su material de enseñanza.

En la fase V final del estudio, en la que se adelantaron las entrevistas para recabar información en torno a las discrepancias y coherencias obtenidas durante la investigación, se encontró que los estudiantes, profesores en formación, justificaron su desempeño en relación con los siguientes aspectos:

- Se percibe un amplio consenso con relación a que existe la necesidad de enseñar ciencias desde los niveles básicos de escolaridad. No obstante, los modelos de ciencia y de enseñanza de las ciencias que fundamentan las prácticas de estos profesores en formación son poco elaborados, pues existen contradicciones importantes, recurrentes y latentes, lo que pudo observarse durante todas las fases de esta investigación.
- Se considera la ciencia como una actividad humana, que conlleva altos niveles de subjetividad de los científicos, que está inmersa en contextos sociales, políticos y culturales, y que intenta dar respuesta a problemáticas específicas derivadas de su entorno. Sin embargo, las producciones propias privilegian la transmisión de contenidos científicos de forma teórica, centrada en definiciones y que se apoyan en la realización de actividades de refuerzo de lo presentado como contenido temático.
- No se reconocen las diversas posibilidades que tendría el profesor, a propósito de la utilización de la historia de la ciencia, en particular a las diversas perspectivas que de ella se han podido caracterizar.
- Se pudo establecer una vez más la importancia que se asigna a los libros de química como referentes del saber a enseñar en la sala de clase. Así, se determinó que la fuente de información a la que se acudió para la elaboración del propio material presentaba un carácter notoriamente conceptual que soslaya la historia de la ciencia, lo cual fue considerado como una causa de la perspectiva teórica/conceptual (PT) de sus propias producciones.

A manera de implicaciones didácticas relacionadas con lo mencionado anteriormente, se puede plantear que, en teoría, para los profesores en formación la HC como referente en sus modelos de enseñanza y posterior ejercicio profesional docente puede tener múltiples ventajas y utilidades, relacionadas con un aumento en la calidad de los aprendizajes.

Parece que, en cierto modo, la HC puede mejorar la comprensión de los alumnos, hacer que el aprendizaje sea más significativo, y que se tenga una visión más humana de la ciencia y de su progreso.

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

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

A pesar del alto reconocimiento de la riqueza didáctica de la HC, los profesores en formación tienen pocos recursos para generar nuevas propuestas, ya sea por deficiencias en su formación o por la escasez de materiales y fuentes de referencia de corte no tradicional. La presencia limitada del uso de la historia en los materiales propuestos impide incidir en una cuestión fundamental que es cómo incorporar la historia de la ciencia en el aula, en relación con las múltiples formas de concebirla y de los múltiples objetivos que pueden ser abordados desde cada una de ellas. No se llega a la reflexión de que, tal como señala Kragh (1989), debido a las múltiples perspectivas de la HC en la actualidad, es seguro que ninguno de los objetivos abarque la disciplina en su totalidad; podrá darse también que desde una sola perspectiva histórica no pudieran lograrse todos ellos. En las producciones de los profesores en formación, a las que se hace mención como perspectiva histórica (PH), aparece de forma recurrente la inclusión de las biografías de los científicos, con el riesgo de convertirla en la llamada *hagiografía*, una historia acrítica en blanco y negro donde se convierten algunos científicos en héroes de la ciencia. Como se estableció en el marco teórico existen diferentes aproximaciones a la HC, pero su uso en la enseñanza no garantiza que se transmita un modelo de ciencia naturalizada, por lo cual el profesor ha de tener una formación teórica y metodológica fundamentadas.

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

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

4.8 La historia de la ciencia como recurso para la enseñanza: el pensamiento de los profesores de química en ejercicio

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

Partiendo del referente teórico del esquema conceptual del profesor de ciencias (Quintanilla, 2006; Angulo, 2002; Cuéllar, 2010), en el que se propone que el discurso del profesor en el aula se moviliza en el marco de las relaciones entre los planos epistemológico, didáctico y pedagógico, se considera fundamental identificar cuáles son los aportes de la historia de la ciencia en el fortalecimiento de dichos planos y sus interrelaciones, tanto en la dimensión teórica (sus concepciones) como en la práctica (su ejercicio en el aula).

En esta línea de investigación, se ha puesto énfasis en la necesidad de replantearse los contenidos científicos escolares y las estrategias de formación del profesorado (Angulo, 2002; Martín del Pozo & Porlán, 2006; Porlán & Rivero, 1998), al establecerse que aún siguen vigentes y coexisten distintas visiones, la mayoría de las veces antagónicas entre sí,

de la ciencia y su comunicación discursiva en el aula (Candela, 2006; Lemke, 1997), como tendencia general entre el profesorado de química, física y biología.

Se pretende plantear que la formación continua de profesores de ciencias naturales, concebida como oportunidad de desarrollo profesional docente (Mellado, 1996; 2003; García, 2009; Angulo, 2002; Angulo y García, 2008; Couso, 2002; Zimmermann, 2000), requiere de una reflexión profunda que conlleve al cuestionamiento acerca de su discurso profesional habitual, entendido como la interacción entre los saberes propios de su esquema conceptual. En este apartado temático y para los fines de este documento, se establece que la incorporación de disciplinas metacientíficas como la historia y la epistemología de las ciencias, con fines didácticamente fundamentados, podría favorecer dicho cuestionamiento y proponer espacios de formación que permitan consolidar la enseñanza de las ciencias en busca de su mejoramiento.

Con base en las anteriores consideraciones, se presentan resultados de una investigación que consideró el análisis interpretativo-comprensivo de las reflexiones profesionales de profesores de química en ejercicio, en el marco de su propio desarrollo profesional. El objetivo se orientó a identificar y caracterizar en qué medida un proceso reflexivo, intencionado y permanente sobre la química escolar, su enseñanza, evaluación y aprendizaje, sustentado en la historia de la química como marco de referencia metateórico y metodológico contribuye al mejoramiento del discurso, la comunicación científica escolar, los procesos formadores de los profesores, y el aprendizaje de la química escolar en el estudiantado.

Se considera que todos aquellos ámbitos relacionados con el proceso de desarrollo profesional, el cual se propone consolidar progresivamente, desde la inclusión de la historia de la ciencia como disciplina metateórica que orienta el discurso profesional, pueden estar vinculados con ciertas áreas, categorías o dimensiones que emergen de la reflexión del profesorado. Estas pueden ser caracterizadas con base en los marcos teóricos de referencia y con la evidencia encontrada, y así configurar lo que se propone en este documento, un perfil temático de reflexión (PTR), entendido como la identificación y caracterización de aquellos ámbitos o categorías, relacionados con el esquema conceptual del profesor de ciencias, que de forma recurrente y sistemática emergen en la reflexión teórica sobre su práctica, cuando este analiza críticamente su discurso profesional docente (Cuéllar, 2010).

Para desarrollar esta idea de PTR se han tomado en consideración planteamientos de Mortimer (2005) y de Schön (1983). Esta propuesta (Cuéllar, 2010) se enmarca en el

campo de la investigación cualitativa desde un enfoque interpretativo, considerando el carácter de estudio de caso de tipo longitudinal, en el que se sugiere analizar en profundidad el caso(s) del (la/los) protagonista(s), durante un período de tiempo pertinente para los fines a plantearse (figura 1).



Figura1. Representación general del proceso de investigación. Se quiere presentar la idea de la simultaneidad del proceso de formación teórica y de intervención en el aula, por parte de los participantes de la investigación.

De manera particular, y como evidencia del trabajo en el área, la investigación en referencia consideró un diseño metodológico desarrollado en tres fases: a) Descriptiva, b) de intervención, y c) de análisis de la intervención, teniendo en cuenta la participación del caso en varias instancias de recogida de información sobre la enseñanza de un tópico científico específico³¹ (entrevistas; discurso en el aula; reflexión dialógica; talleres de formación docente).

Estas fases se asociaron a ciertos momentos clave de su intervención en el aula, a partir de lo cual se caracterizó su PTR, en tres niveles diferenciados, pero progresivamente vinculantes entre ellos (de instancia, PTR_i; de momento, PTR_M; y docente, PTR_D). Para ello se utilizó la técnica del análisis del contenido del discurso de la protagonista, identificándose quince categorías, de las cuales fueron seleccionadas cuatro de ellas (anexo 1) para la configuración del perfil temático de reflexión (figura 2).

³¹Para el desarrollo de los objetivos planteados en la investigación (Cuéllar, 2010) se trabajó la noción científica de ley periódica, desde la perspectiva de la historia de la ciencia (los momentos desarrollados fueron: biografías científicas; radio atómico; principios básicos de electroquímica; y el Congreso de Karlsruhe).

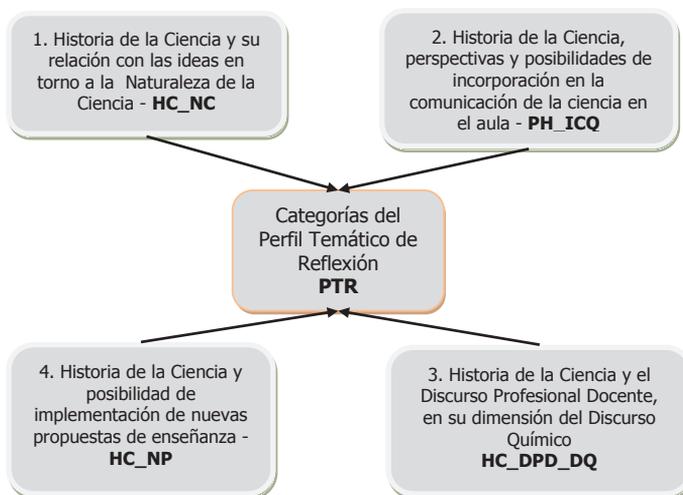


Figura 2. Selección de las categorías constitutivas del perfil temático de reflexión (PTR) de la profesora protagonista de la investigación, en torno su proceso de inclusión de la historia de la química en su discurso profesional docente (DPD).

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

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

La especificidad del tipo de información recopilada, a partir de los diversos instrumentos –entrevistas, observación participante, cuestionarios, videograbaciones y notas de campo–, y especialmente las diversas instancias de recogida de información –entrevista inicial (EI); reflexión individual (RI); reflexión dialógica (RD); talleres de formación docente (TFD); entrevista final (EF)–, y su vinculación a los diversos momentos–divulgación del contenido científico en el aula–, desde las clases tradicionales hasta la inclusión de la perspectiva histórica de la ciencia, han resultado pertinentes para los objetivos de la propuesta. Además se constituyen en un aporte, debido a la solidez con la cual se permite articular la evidencia, la configuración del PTR y la comprensión de las relaciones entre la historia de

la ciencia y el discurso profesional docente, en torno a cada uno de los cuatro momentos analizados.

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

Se considera que la configuración del perfil temático de reflexión docente (PTR_D), a partir de los PTR_M y los PTR_I , resulta uno de los aportes más valiosos de este tipo de propuesta de investigación, ya que de este modo se logra dar sentido global y unificador a cada una de las unidades de análisis identificadas en el discurso de la protagonista. Es en este punto en el que adquiere un alto valor la aparición del contenido disciplinar, la ley periódica (en este caso), desde una orientación basada en la historia de la ciencia, para que en torno a este se vincule toda la información recolectada.

Aun en este análisis del diseño metodológico de la propuesta, se destaca la importancia del análisis progresivo y selectivo de todas aquellas unidades discursivas que se configuran como evidencia desde el discurso de la protagonista, y que para la interpretación, comprensión y análisis de estas, ha sido de gran utilidad la presentación de los llamados gráficos de categorías de reflexión, GRC (Cuéllar, 2010), los cuales se basan en la propuesta de los gráficos de encadenamiento temático, GET (Angulo, 2002; Couso, 2002), no obstante su limitación, solo en el plano descriptivo, de cómo se moviliza el discurso de la protagonista.

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

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

Se destaca la pertinencia de identificar aquellas categorías de la reflexión docente que permiten establecer la forma en que adquiere sentido la vinculación de la historia de la química en el discurso profesional docente. En este tipo de procesos, se logran identificar

rigurosamente cuáles de estas categorías están presentes en cada una de las diversas instancias de recogida de información. Vale la pena insistir en que en este caso particular se seleccionaron cuatro categorías de quince³², a partir de las cuales se configura el PTR. Dicho número ha de variar en función de los objetivos propuestos por el investigador.

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

Con respecto a la instancia denominada reflexión dialógica (RD), de la cual se llevaron a cabo cuatro (4) sesiones, se resalta su valor como espacio de reflexión analítica y de evaluación y orientación de la intervención en el aula. Luego del análisis individual previo (PRI), se llega a dar sentido a la forma en que la historia de la ciencia aparece y se consolida como referente metateórico del discurso profesional docente en el aula.

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

Es importante señalar también que este espacio colectivo de teorización se convierte en el espacio de intercambio de experiencias profesionales. Esto conduce al enriquecimiento de las propias prácticas de aula, lo mismo que a la producción intelectual de nuevas propuestas de enseñanza a implementar en el aula, desde el marco referencial de la historia de la ciencia.

³² En el estudio citado como referencia de la propuesta (Cuéllar, 2010), se han dejado fuera del análisis once categorías emergentes, en función de los objetivos de la investigación, debido a dos razones principales: 1) no se encontró un vínculo directo entre ellas y los objetivos propuestos; y 2) no aparecieron ni se registraron suficientes datos para ser analizados como evidencia, en la posterior elaboración de cada uno de los perfiles temáticos de reflexión.

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

Por último vale la pena aclarar que no se profundiza de manera específica en los resultados del aporte teórico disciplinar de la historia de la ciencia en el desarrollo profesional docente (por lo que se ha presentado solo lo relacionado con el diseño metodológico de una propuesta de investigación), en consideración a las finalidades del presente documento, relacionadas con la presentación de algunos antecedentes para situar en nuestras prácticas docentes la importancia de la implementación de propuestas innovadoras, e iniciar un eventual debate en torno a las ideas presentadas³³.

4.9 Algunas ideas para continuar el debate en torno a la importancia de la historia de la ciencia en el mejoramiento de la calidad de la educación

En el presente documento se han abordado de manera específica diversos ámbitos relacionados con la historia de la ciencia en los libros de texto, en la formación inicial de profesores de ciencias y en la formación continua de profesores de ciencia en ejercicio. No obstante la presentación preliminar de una serie de planteamientos a manera de conclusiones, de manera diferenciada al término de cada uno de dichos subapartados, se presentan a continuación algunas implicaciones didácticas, derivadas de una visión general respecto de la importancia de la historia de la ciencia en la enseñanza. La ciencia escolar (Izquierdo, 2005) es un espacio de argumentación en el que, entre otras finalidades, se busca que el estudiantado pueda incorporar el lenguaje y las representaciones de la ciencia erudita en sus explicaciones, en el marco del reconocimiento de esta como una actividad humana, lo cual puede ser posible desde la inclusión de disciplinas metacientíficas, como la historia y la epistemología de la ciencia. Al respecto, y como señalan Quintanilla et al. (2007), la historia de la ciencia promueve una mejor comprensión de los conceptos y métodos científicos, ya que desde diversos

³³Además, el autor de este documento está trabajando simultáneamente en la publicación de un artículo especializado en dicho componente disciplinar, vinculado a los resultados teóricos de la implementación de la propuesta de la historia de la ciencia en el discurso profesional docente (en edición).

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

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

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

Referencias

- Adúriz-Bravo, A. (2008). La naturaleza de la ciencia. En C. Merino, A. Gómez, & A. Adúriz-Bravo (Org), *Área y estrategias de Investigación en la Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 111-126). Barcelona, España: UAB, 2008.
- Angulo, F. (2002). *Formulación de un modelo de autorregulación de los aprendizajes desde la formación profesional del biólogo y del profesor de biología* (Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, España).
- Angulo, F. & García, M. P. (2008). Formar profesores mediante la investigación acción. En C. Merino, A. Gómez, & A. Adúriz-Bravo (Org.), *Área y estrategias de investigación en didáctica de las ciencias experimentales* (pp. 211-226). Barcelona, España: UAB.

- Barona, J. L. (1994). *Ciencia e Historia. Debates y tendencias en la historiografía de la ciencia*. Valencia, España: SEC.
- Camacho, J. & Cuéllar, L. (2007). La ley periódica analizada desde el modelo de Toulmin. Aportes para la enseñanza de la Historia de la Química. En M. Quintanilla (Org.), *Historia de la Ciencia. Propuestas para su divulgación y enseñanza* (pp. 107-124). Santiago, Chile: Arrayán.
- Candela, A. (2006). Construcción discursiva de la ciencia en el aula. En M. Quintanilla & A. Adúriz-Bravo (Org.), *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y propuestas* (pp. 43-55). Santiago, Chile: PUC.
- Couso, D. (2002). *Análisis del contenido del discurso de los profesores de ciencias de secundaria en el diseño de unidades didácticas de forma cooperativa* (Tesina de maestría, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España).
- Cuéllar, L., Gallego, R., & Pérez, R. (2008). El modelo atómico de E. Rutherford. Del saber científico al conocimiento escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(1), 43-52.
- Cuéllar, L. (2010). *La historia de la química en la reflexión sobre la práctica profesional docente. Un estudio de caso desde la enseñanza de la ley periódica* (Tesis doctoral, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile).
- Cuéllar, 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 y Educação*, 16(2), 277-293.
- Fariás, D. (2012). *Teoría, estructura y modelos atómicos en los libros de texto de química de educación secundaria. Análisis desde la sociología de la ciencia e implicaciones didácticas* (Tesis doctoral, Universidad de Barcelona, Barcelona, España).
- Gándara, M. & Sanmartí, N. (2002) Del Modelo científico de 'adaptación biológica' al modelo de 'adaptación biológica' en los libros de texto de enseñanza secundaria obligatoria. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(2), 303-314.
- García, A. (2009). *Aportes de la historia de la ciencia al desarrollo profesional de los profesores de química* (Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, España).
- Izquierdo, M. (2000). Fundamentos Epistemológicos. En F. J. Perales & P. Cañal (Org.), *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (pp. 35-64). Madrid, España: Alcoy.
- Izquierdo, M. (2005). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), 111-122.
- Izquierdo, M. & Aliberas, J. (2005). *Pensar, escriure y actuar a la classe de ciènces. Per un ensenyament de les ciènces racional i raonable*. Cerdanyola, España: UAB.
- Izquierdo, M. et al. (2006). Relaciones entre la historia y la filosofía de la ciencia II. *Alambique*, 48(1), 78-91.
- Jiménez, F. & Perales, J. (2002) Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 369-386.
- Kragh, H. (1989). *Una introducción a la Historia de la Ciencia*. Barcelona, España: Crítica.
- Labarrere, A. & Quintanilla, M. (2002). La solución de problemas científicos en el aula. Reflexiones desde los planos de análisis y desarrollo. *Pensamiento Educativo*, 30, 121-137.

- Lemke, J. Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores. Barcelona, España: Paidós. 1997.
- Lires, M. (2007). ¿Qué historia de la ciencia enseñar? Orientaciones para la formación docente. En M. Quintanilla (Org.), *Historia de la Ciencia. Aportes para la formación del profesorado* (pp. 65-80). Santiago, Chile: Arrayán.
- Martín del Pozo, R. & Porlán, R. (2006). ¿Cómo progresa el profesorado al investigar problemas prácticos relacionados con la enseñanza de la ciencia? *Alambique*, 48, 92-99.
- Matthews, M. R. (1994). Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 255-277.
- Mellado, V. (1996). Concepciones y prácticas de aula de profesores de ciencias, en formación inicial de primaria y secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 289-302.
- Mellado, V. (2003). Cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales y filosofía de la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 343-358.
- Mortimer, E. (2005). *Lenguaje y formación de conceptos en la enseñanza de las ciencias*. Madrid, España: Machado.
- Muñoz, R. & Bertomeu, J. (2003) La historia de la ciencia en los libros de texto. La(s) hipótesis de Avogadro. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 147-159.
- Níaz, M. (1998). From cathode rays to alpha particles to quantum of action: a rational reconstruction of structure of the atom and its implications for chemistry textbooks. *Science Education*, 82(5), pp. 527-552.
- Porlán, R. & Rivero, A. (1998). *El conocimiento de los profesores*. Madrid, España: Díada.
- 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 *Science y Education IHPST*, 8, 15-18.
- Quintanilla, M. (2006). Identificación, caracterización y evaluación de competencias científicas desde una imagen naturalizada de la ciencia. En M. Quintanilla & A. Adúriz-Bravo (Org.), *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y propuestas* (pp. 17-42). Santiago, Chile: PUC.
- Quintanilla, M. (2007). La enseñanza del modelo atómico de John 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). Santiago, Chile: Arrayán.
- Quintanilla, M., Cuéllar, L., & Camacho, J. (2007). Aportes de la Historia de la Química a una didáctica de la teoría atómica en libros de texto. En IV Congreso Iberoamericano de Educación Científica. Lima, Perú.
- Solsona, N. (2007). Las mujeres en la Historia de la Ciencia. En M. Quintanilla (Org.), *Historia de la Ciencia. Aportes para la formación del profesorado* (vol. I, pp. 37-64). Santiago, Chile: Arrayán,
- Schön, D. (1983). *The Reflective Practitioner: How professionals think in action*. New York, NY: Basic Books.
- Toulmin, S. (1977). *La comprensión humana. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid, España. Alianza.

Zimmermann, E. (2000). The Structure and Developing of Science Teachers' Pedagogical Models: Implications for Teacher Education. En J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Org.), *Developing Models in Science Education*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Anexo 1. Caracterización de las categorías seleccionadas en el perfil temático de reflexión (PTR)

En el proceso de caracterización de las categorías de reflexión se han tomado como base unidades discursivas emergentes del pensamiento de la profesora, como fragmentos representativos, explicitados en las etapas e instancias de la investigación, los cuales fueron complementados con los marcos teóricos de referencia. La caracterización propuesta ha sido sometida a determinación de la validez interna, por parte de pares investigadores en el área de la historia de la ciencia y formación docente, encontrándose coincidencia aprobatoria en las valoraciones realizadas por los dos jueces, en torno a lo propuesto para cada una de estas cuatro categorías, las cuales se presentan a continuación:

La historia de la ciencia y su relación con las ideas en torno a la naturaleza de la ciencia (HC_NC)

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

Historia de la ciencia, perspectivas y posibilidades de incorporación en la comunicación de la ciencia en el aula (PH_ICQ)

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

La historia de la ciencia y el discurso profesional docente, en su dimensión del discurso químico (HC_DPD_DQ)

Se consideran dentro de este ámbito del PTR aquellas evidencias, implícitas y explícitas en el discurso profesional docente, que desde la reflexión sustentada en la incorporación de la HC dan cuenta del cuestionamiento de los modelos teóricos y las nociones científicas

inherentes que conforman su discurso químico, al tiempo que favorecen la necesidad de consolidación teórica de dicho discurso que comunica en el aula de clase.

Historia de la ciencia y posibilidad de implementación de nuevas propuestas de enseñanza (HC_NP)

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

CAPÍTULO 5

Diseño de situaciones-problema para la enseñanza de la química, a partir del análisis histórico de experimentos de combustión

Henry Giovany Cabrera Castillo
Universidad del Valle
henry.g.cabrera.c@correounivalle.edu.co

Contenidos

Resumen

5.1 Introducción

5.2 Importancia de la combustión en la enseñanza de la química

5.3 Las situaciones-problema en la enseñanza de la química

5.4 Una propuesta de análisis de textos histórico-científicos

5.5 ¿Cómo realizar un análisis crítico de un texto histórico-científico?

5.6 Implicaciones didácticas: elaboración de situaciones problema

5.7 Consideraciones finales

Agradecimientos

Referencias

Diseño de situaciones-problema para la enseñanza de la química, a partir del análisis histórico de experimentos de combustión

Resumen

Este capítulo tiene el propósito de elaborar situaciones-problema acerca de la combustión como un recurso para resaltar la reflexión con base en conceptos claves en química en la formación de profesores de ciencias. En este sentido, se inicia con la conceptualización de un análisis histórico de los textos histórico-científicos. Continúa con la importancia de la combustión en la enseñanza de la química y, las situaciones-problema, como herramienta para la enseñanza de la química. Avanza hacia los aspectos metodológicos y de cómo llevarla cabo. Finaliza con dos ejemplos de situaciones-problema.

5.1 Introducción

En la actualidad la historia y la filosofía de las ciencias (HFC) en la enseñanza de las ciencias (EC) es una línea de investigación que ha favorecido el desarrollo de diversas estrategias, dos ejemplos que se pueden destacar serían: a) análisis de libros de texto de ciencias con la finalidad de identificar como los contenidos, actividades y experimentación involucra aspectos históricos (Cabrera & Quintanilla, 2014; Carrillo, Morales, Pezoa, & Camacho, 2011; Velasco, 2008). b) Estudio, análisis y recontextualización de experimentos históricos con el propósito de indagar sobre los fenómenos que implícitamente los integran (García-Arteaga & Estany, 2010; Sierra, 2006).

Otro aspecto importante que se debe reconocer es que para el profesor de ciencias el conocimiento de la HFC le permitirá prever posibles dificultades u obstáculos que los estudiantes tendrán cuando se orienten temáticas científicas. Por ejemplo, si los profesores reconocen habilidades, destrezas, requerimientos y experiencias que históricamente permitieron solucionar problemáticas de índole científico, estos hallazgos adquieren relevancia a nivel académico porque se pueden catalogar como insumos para emplearse en los procesos de enseñanza en los diferentes niveles educativos.

Cabe destacar que el uso de la HFC en la EC ha permitido valorar la importancia de los Textos Histórico-Científicos (THC), por ejemplo, libros, artículos, comunicaciones y cartas elaboradas por los científicos. En este tipo de materiales los profesores podrán “dilucidar los hechos, los datos, las teorías, los procedimientos, los instrumentos” (Stiefel, 1996, p. 2), los cuales desde una mirada educativa servirán para proponer aportes para la enseñanza de las ciencias.

Este capítulo tiene dos propósitos: a) realizar un análisis histórico-crítico (AHC) de la experimentación histórica descrita en uno de los THC elaborados por John Mayow (1674); b) diseñar situaciones problema (SP) acerca de la combustión como recurso que puede utilizarse en la enseñanza de la química que reciben los futuros profesores.

5.2 Importancia de la combustión en la enseñanza de la química

Como es sabido, la combustión es fundamental para la comprensión de concepto de “cambio químico” y su posterior relación con el de “reacción química”. Este antecedente adquiere gran relevancia para la enseñanza de la química y contenidos relacionados. Su importancia se puede visualizar por aspectos como:

1. La trascendencia y significado que tuvo en el desarrollo histórico de la química, ya que a través de las investigaciones que se efectuaron, permitieron llegar a elaborar explicaciones de la relación existente entre procesos como la reducción, calcinación, corrosión, oxidación y respiración. Además, porque tuvo asociada una transición de la explicación del modelo del flogisto al modelo de la oxigenación, lo cual favoreció la reestructuración del lenguaje químico que se utilizaba, la sistematización y medición en los procedimientos químicos (Cabrera, 2010).
2. La enseñanza de la combustión puede utilizarse como una manera de introducir las reacciones químicas con las cuales los estudiantes podrán tener un panorama más amplio de lo que ocurre en las transformaciones de la materia (Caamaño, 2003; Mortimer & Miranda, 1995; Spencer, 1992).

Según Treagust, Chittleborough, & Mamiala (2003) para la comprensión de la combustión es pertinente acudir a explicaciones en tres niveles distintos de representación. 1) El nivel macroscópico, el cual se basa en las percepciones sensitivas al identificar variaciones en las propiedades físicas de las sustancias como son el color, olor, aspecto, además, de poder observar la formación de gases y la emisión de energía en forma de calor y luz. 2) El nivel submicroscópico, donde la combustión se explica en términos de la existencia de partículas (átomos y moléculas) que reaccionan químicamente. 3) El nivel simbólico, para lograr la comunicación y socialización entre los diferentes integrantes de las comunidades científicas.

5.3 Las situaciones-problema en la enseñanza de la química

La enseñanza de las ciencias y, particularmente, de la química, ha estado focalizada en procesos donde el profesor es el eje fundamental de las actividades académicas que se realizan, y donde el estudiante suele cumplir una función pasiva, limitándose únicamente a realizar ejercicios y mecanizar o memorizar ecuaciones (Mora, 1999). En contraposición a esta tendencia, aportes como el uso de actividades experimentales, el diseño de materiales educativos y la vinculación de las tecnologías de la información y comunicación que se han desarrollado en los últimos años, han pretendido avanzar hacia la construcción de significados inherentes al conocimiento científico (García-Arteaga, 2011; Izquierdo, 2007).

La formulación y aplicación de situaciones-problema (SP) tienen implícito tanto “el análisis y aplicación de conocimientos teóricos en abstracto, como el trabajo sobre diseños experimentales orientados a completar y contrastar el conocimiento disponible” (Fernández, Medina, & Elórtogui, 2003, p. 478). Esto significa que en los procesos de formación inicial de profesores se debe instar para que las diferentes asignaturas del programa académico diversifiquen la manera tradicional como han enseñado y evaluado, y se complementen con el uso, análisis y argumentación de las SP para que posteriormente reflexionen y fundamenten en su actividad académica (Seferian, 2010).

Las SP deben formularse con el propósito de interesar a los profesores para que desarrollen actitudes y habilidades que posteriormente se reflejarán en las estrategias didácticas de análisis y comprensión de “los conceptos a enseñar, con el fin de que la resolución permita la construcción de significados” (García-Carmona, 2006, p. 498).

5.4 Una propuesta de análisis de textos histórico-científicos

De acuerdo con lo que se ha planteado en trabajos previos (Cabrera & García-Arteaga, 2014; Cabrera & Quintanilla, 2014), en la actualidad los trabajos que se realizan en HFC han acudido a los THC, en los cuales se logra identificar sus observaciones, las explicaciones de los científicos, los modelos teóricos o conceptuales generados, la instrumentación utilizada y los procedimientos experimentales. Cada uno de los THC (artículos, libros, cuadernos de laboratorio, comunicaciones, diarios de campo) debe analizarse para determinar aquellos aportes que puedan recontextualizarse en la actualidad y sobre todo que permitan continuar el estudio de los hechos científicos y sus correspondientes problemas.

Una opción para alcanzar este propósito es acudir al AHC para establecer un diálogo con él o los científicos que escribieron los THC a través de la formulación de preguntas que

permitan escudriñar la lógica que los estructuraba (Ayala, 2006; García-Arteaga, 2014). Esta indagación permite recuperar ideas, modelos y experimentos que han sido olvidados y relegados en el pasado por la influencia de factores políticos, económicos, sociales y religiosos. El AHC al cual se adscribió este estudio estuvo basado en una metodología cualitativa propuesta por varios autores (Flick, 2004; Hernández, Fernández-Collado, & Baptista, 2008). Como ya ha sido presentado previamente en Muñoz, Valencia, & Cabrera, 2017 (figura 1), procedimentalmente, el análisis del THC se efectúa en dos fases en las que se involucran aspectos que conforman el procesamiento de los datos obtenidos al analizar el THC: preanálisis y análisis.

La fase de preanálisis consiste en disponer del corpus de datos que fueron analizados, para luego iniciar la lectura “superficial” y acercarse a las ideas y explicaciones contenidas en el THC, una tarea paralela que se ha de ejecutar consiste en proceder a la preparación del material; es decir, el THC, que suele ser una imagen digital, se transcribe por medio de un procesador de textos comercial (Word) para llevar a cabo posteriormente el análisis.

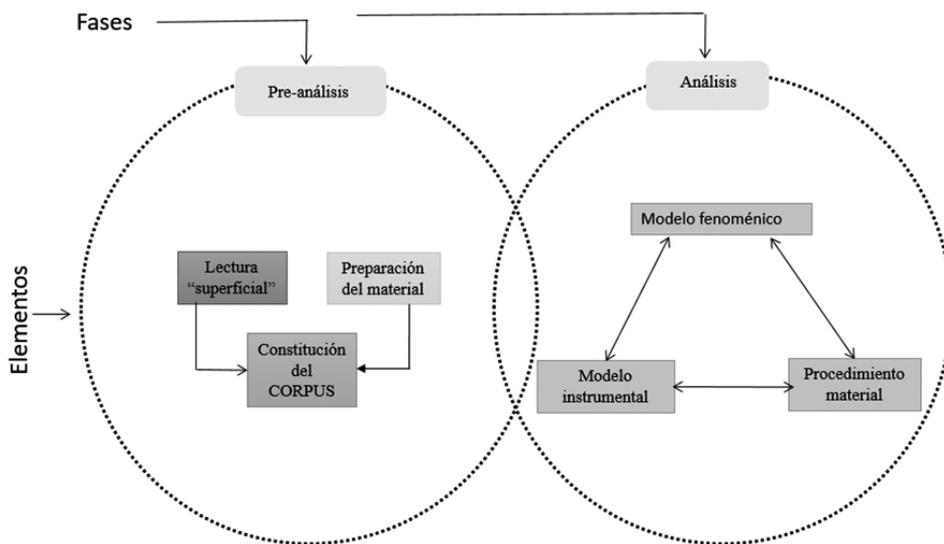


Figura 1. Procesamiento de análisis del THC, tomado de Muñoz, Valencia, & Cabrera (2017).

La fase de análisis consiste en aplicar el AHC para estudiar los THC escritos por los científicos. El propósito es instaurar un diálogo con ellos, para construir desde una perspectiva educativa vínculos con el conocimiento (Ayala, 2006; García-Arteaga, 2014). Las acciones que se realizan sirven para identificar lo que Pickering (1989) denomina los elementos estructurales que están presentes en la experimentación, estos son:

- Un procedimiento material (PM), que corresponde a la utilización o manipulación adecuada de los aparatos.
- Un modelo instrumental (MI), que debe tener el investigador para comprender e interpretar el funcionamiento de los instrumentos enfocado hacia la comprensión conceptual del funcionamiento del aparato por parte del experimentador (diseño, realización e interpretación del experimento).
- Un modelo fenoménico (MF), que le sirve al investigador para establecer la conceptualización del fenómeno que se está analizando.

Aunque a simple vista pareciese que no existe relación entre estos tres elementos, es pertinente indicar que en el momento de la producción de los hechos, su relación es coherente, ya que se refuerzan entre ellos; es decir, el procedimiento material se hace explícito cuando se ha interpretado un modelo instrumental y cuando producen hechos dentro del marco de un modelo fenoménico (Pickering, 1989). Reconocer la relación entre estos elementos permite destacar y promover la idea de que a través de las diversas investigaciones de índole científico existe una sincronía entre teoría y experimento. Dicha sincronía se puede evidenciar a través del AHC de THC escritos por los científicos; en otras palabras, lo que se pretende es reivindicar que la teoría y la experimentación están en interacción constante, y que su uso o aplicación dependerá de los intereses investigativos; por lo tanto, la realización del análisis del THC de Mayow es un ejemplo mediante el cual se logra visualizar la relación a la que se hace mención.

Acudir al análisis de un experimento histórico como el que aquí se presenta también es fundamental, porque permite establecer que la función que se le otorga no es exclusivamente la de poner en cuestión hipótesis ni que es subsidiaria de la teoría. Por el contrario, lo que se pretende es indicar que tanto teoría como experimento están en el mismo nivel jerárquico y que pueden llegar a complementarse.

5.5 ¿Cómo realizar un análisis crítico de un texto histórico-científico?

La consulta e indagación de libros de historia de química permiten determinar que científicos como Robert Boyle (1627-1691), John Mayow (1640-1679), Henry Cavendish (1731-1810), Joseph Priestley (1733-1804), Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) y Georg Ernest Stahl (1659-1743), llevaron a cabo diversas investigaciones que circularon en el ámbito académico científico al cual pertenecían. Los principales focos de interés de sus investigaciones estuvieron marcados por el estudio de la producción de la llama, los cambios en la masa de los metales después de su quema, la liberación e identificación de gases y el análisis de los componentes del agua (Bensaude-Vincent & Stengers, 1997; Brock, 1998; Ihde, 1984; Leicester & Klickstein, 1952; Leicester, 1967).

Las investigaciones fueron descritas y narradas en los THC, y los acompañaban de ilustraciones que representaban el montaje de los aparatos e instrumentos que utilizaban. En dichos THC se incluían ideas y explicaciones de los experimentos que ejecutaban en sus laboratorios personales o de las instituciones a las que pertenecían. En las explicaciones de los experimentos se articulaban la teoría y la práctica, es decir, se estructuraban aspectos conceptuales y procedimentales que en conjunto conformaban el conocimiento químico.

De acuerdo con lo anterior, es fundamental realizar un AHC desde una mirada educativa y didáctica que permita alcanzar el primer propósito que se formuló al inicio del capítulo. Por ello, a continuación se presenta un estudio de caso focalizado principalmente en uno de los experimentos que aparece en el THC titulado: “Medico-physical Works: Being a Translation of Tractatus Quinque Medico-physici”, escrito por John Mayow (1674).

Preanálisis del THC

La información que se puede destacar de la *lectura* superficial es que en los capítulos 3, 7 y 10 se describen diversos experimentos vinculados explícitamente con la combustión. Sin embargo, el AHC de este apartado se centrará en el experimento que se describe entre las páginas 19 y 22 del capítulo 3 cuyo propósito fue “reflexionar sobre el carácter de los cambios que experimentan las partículas de fuego al ser encendido” (Mayow, 1674, p. 19) (ver anexo 1).

Como se mencionó en el aspecto procedimental, la preparación del material consistió en transcribir el THC en Word (procesador de textos comercial) para agilizar su revisión, análisis y traducción de términos que en la actualidad han desaparecido. Se debe tener en cuenta y reconocer que los tres elementos (procedimiento material, modelo instrumental y modelo fenoménico) están estructurados, sin embargo, la presentación se hará de manera individual por motivos de organización de escritura.

Análisis del THC

Mayow fue uno de los investigadores que trabajó junto a Boyle y Hooke en la ejecución de experimentos que permitieron establecer aportes sobre el análisis y comprensión de la naturaleza de la combustión, destaquemos esta cita:

Para permitir que se mantenga una placa de metal pulido durante algún tiempo en la llama de una vela, para que las partículas ígneas penetren profundamente dicha placa que está caliente. Las partículas ígneas que entran en la placa son las partículas nitro-aéreas de fuego y no sulfurosas, es evidente a partir de esto, que

las partículas sulfurosas se adhieren a la superficie exterior de la placa en forma de hollín y no penetran la placa, sin embargo, no podemos dudar que las partículas sulfurosas que se adhieren a la placa estaban en la llama (Mayow, 1674, p. 20).

El PM antes descrito permite determinar que el cambio identificado en una placa metálica cuando se sometía a la llama de una vela era la formación de hollín en la superficie de la misma. Es así como adquiere importancia la siguiente pregunta: ¿por qué se forma hollín en la superficie? Las inferencias e hipótesis de Mayow le permitieron establecer la importancia de lo que él denominaba “partículas nitroaéreas”, las cuales eran ágiles, brillantes, finas y tan sutiles que se escapaban de la observación y se ponían en movimiento por la acción del fuego y el impulso de la luz.

Tenemos entonces que reconocer que el MF de Mayow estaba mediado por esas partículas y eran parte constitutiva de la combustión; fue así como infirió que estas penetraban materiales sólidos (crisoles, metales y vidrio) y encendían salitre y azufre. En la lógica de su modelo era importante destacar que estas partículas formaban parte del aire, por ello cuando había ausencia de estas, el aire no era óptimo ni para la producción de llama ni para sostener la vida de los animales. En este sentido dice que “...el aire que es inadecuado para sostener la vida también es incapaz de producir la llama, ya que se necesita una mayor cantidad de partículas aéreas...” (Mayow, 1674, p. 22).

Los dos elementos anteriores (PM y MF) fueron significativos para Mayow porque le permitieron explorar con materiales como el nitró (nitrato de potasio), crisol, salitre (mezcla de nitrato de potasio y nitrato de sodio), azufre, placa de metal, vela, espejo, antimonio, *bezoardicum minerale*, espíritu de nitró y tartrato de nitró para identificar los cambios que en ellos acontecían. La conceptualización de estos y otros materiales es lo que se conoce como MI, ya que se identifica un conocimiento químico y sobre todo de lo que puede ocurrir y las precauciones que se deben tener en el momento de utilizarlas.

5.6 Implicaciones didácticas: elaboración de situaciones problema

A continuación, se incluyen dos situaciones problema que han sido elaboradas con el propósito de orientar algunas sesiones de las asignaturas de química que son cursadas por los estudiantes de licenciatura. No se avanza hacia la estructuración completa de una unidad didáctica debido a que requiere otros aspectos del aprendizaje y la evaluación.

Situación problema 1: cambios en los materiales

En la cotidianidad existen diversas manifestaciones en las cuales se puede identificar el efecto de la combustión en los materiales orgánicos e inorgánicos. Esta caracterización permite reconocer las diferencias de las reacciones químicas reversibles e irreversibles. Como se puede observar en la imagen 1 existen cuatro opciones (A, B, C, D) que están relacionadas con algún tipo de combustión. En este sentido, una posible actividad que se puede realizar es solicitarles a los profesores en formación inicial en ciencias naturales que argumenten todas las condiciones, reactivos, productos y consecuencias que se efectúan en A y B. En el caso de C y D, la actividad que se puede proponer es establecer las diferencias a nivel macroscópico y submicroscópico que les suceden a los materiales.

De igual manera, los profesores en formación inicial en ciencias naturales a través del análisis de la reacción química de combustión pueden instaurar relaciones, semejanzas y diferencias con las reacciones de calcinación, corrosión, reducción, oxidación, respiración. Recordemos que este aspecto fue fundamental, ya que las diversas investigaciones que realizaron científicos como Boyle, Hooke, Mayow, Scheele, Priestley, Cavendish y Lavoisier estaban mediadas por modelos que permitían establecer relaciones entre esos procesos, por ello, en la actualidad es necesario que el conocimiento químico permita visualizarlos, explicarlos y argumentarlos.

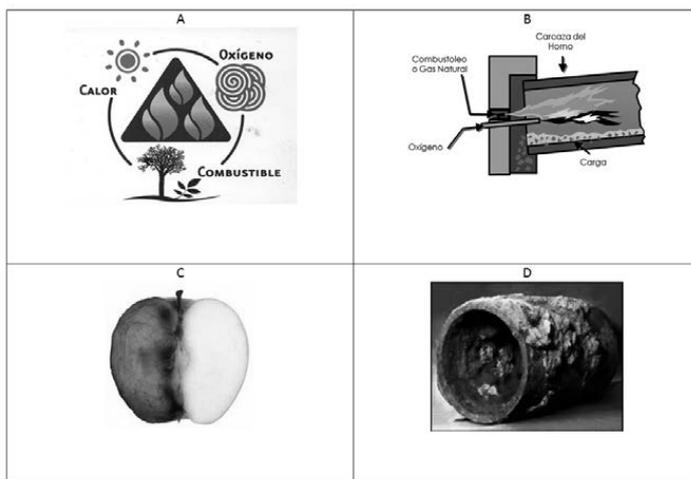


Imagen 1. Tipos de combustión en materiales orgánicos e inorgánicos³⁴.

Situación problema 2: análisis de THC

³⁴ La imagen A fue tomada de <https://goo.gl/ZxMFZ9>, la imagen B de <https://goo.gl/cU8aUb>, la imagen C de <https://goo.gl/bqVu6f>, la imagen D de <https://goo.gl/sB1Kie>.

Es fundamental que, en las asignaturas de química, didáctica de la química e historia y filosofía de la química, que son ofrecidas a los profesores en formación inicial en ciencias naturales, tengan la posibilidad de leer, pensar, intervenir y escribir adaptaciones a partir de THC, ya que son fuente fundamental de conocimiento, lenguaje y experiencias que posteriormente pueden recontextualizarse en los contextos actuales. Por ejemplo, en la tabla 1 podemos leer un experimento realizado por Lavoisier (1798) a partir del cual se pueden diseñar actividades con el propósito de:

- identificar y comparar el lenguaje químico utilizado por los científicos en el siglo XVIII con el que actualmente se utiliza en las clases de química;
- determinar el fenómeno químico que se estaba investigando;
- representar y explicar el funcionamiento de cada uno de los materiales utilizados en el experimento.

Tabla 1

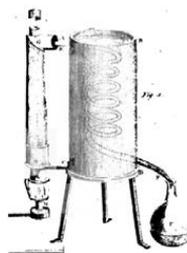
Experimento descrito por Lavoisier (1798) en el Tratado Elemental de Química

CIENTÍFICO	Lavoisier (1798)
THC	<i>Tratado Elemental de Química</i>
EXPERIMENTO	<p>DE LA COMBUSTIÓN DEL ESPÍRITU DE VINO O ALCOHOL.</p> <p>La combustión del alcohol puede hacerse, en rigor, en el aparato que se ha descrito anteriormente para la combustión del carbón y del fósforo. Se coloca bajo una campana A (lám. IV, fig. 3) una lámpara llena de alcohol; se pone en el sifón una partícula de fósforo y se enciende con un hierro encorvado y al rojo que se pasa por debajo de la campana; pero esta forma de operar puede tener muchos inconvenientes. Sería imprudente, desde luego, emplear gas oxígeno por el temor de que se produzca una explosión, pero este peligro subsiste cuando se emplea aire atmosférico, y de ello tengo la prueba por la experiencia que realicé en presencia de algunos miembros de la Academia y que fue funesta para nosotros. En lugar de preparar el experimento, como tenía costumbre de hacerlo, para comenzar a operar en el mismo momento, lo había dejado dispuesto el día anterior.</p> <div style="text-align: center;"> <p>Fig. 3.</p> </div> <p>Por consiguiente, el aire atmosférico contenido en la campana había tenido tiempo de disolver el alcohol; también favoreció la evaporación de este que yo elevase a EF (lám. IV, fig. 3) la altura de la columna de mercurio. Por tanto, en el momento que quise encender la partícula de fósforo y la lámpara con el hierro al rojo se produjo una detonación violenta que arrojó la campana contra el techo del</p>

laboratorio y se hizo mil pedazos. Dada esta imposibilidad de operar con el gas oxígeno, resulta que por este medio solo podemos quemar cantidades muy pequeña de alcohol, 10 o 12 gramos, por ejemplo, y los errores que se pueden cometer en cantidades tan pequeñas no permiten tener confianza en los resultados. En los experimentos que he notificado a la Academia (véase *Mémoires de l'Académie*, año 1784, página 593) intenté prolongar la combustión encendiendo la lámpara de alcohol en aire ordinario y suministrando después gas oxígeno en la campana a medida que se iba consumiendo; pero el gas ácido carbónico que se forma obstaculiza la combustión, tanto más cuanto el alcohol es poco combustible y arde difícilmente en un aire que sea menos puro que el aire común. Por tanto, tampoco se puede quemar de este modo más que cantidades muy pequeñas de alcohol.

Quizá tenga éxito esta combustión en el aparato representado en la lámina XI, pero no he osado intentarlo. El bocal A donde se realiza la combustión tiene alrededor de 1.400 pulgadas cúbicas de capacidad, y si se produjese una explosión en un recipiente tan grande, las consecuencias serían terribles y sería difícil librarse de ellas. Sin embargo, no renuncio a realizar el intento.

Debido a estas dificultades me he limitado hasta aquí a experiencias muy en pequeño sobre el alcohol, o bien a combustiones hechas en recipientes abiertos, como en el aparato representado en la lámina IX, figura 5, que describiré en el § V de este capítulo.



En otra ocasión volveré a ocuparme de la continuación de este trabajo, si consigo, al menos, vencer los obstáculos que me ha presentado hasta ahora.

La idea con el THC de la tabla 1 es que, basado en el procesamiento de análisis ejemplificado con el experimento de Mayow, se replique con lo que describe Lavoisier. Esta actividad sirve para profundizar en la comprensión de los elementos de Pickering y, sobre todo, para reconocer la integración que existe entre ellos.

5.7 Consideraciones finales

Este capítulo presenta argumentos para sustentar la importancia del uso de los THC, ya que se pueden catalogar como recurso indispensable para complementar el conocimiento químico que, en la actualidad, se adquiere en los programas de formación de profesores. Estos THC incluyen información sobre modelos, experimentos, fenómenos, instrumentos,

preguntas, problemas, hechos científicos, que han de analizarse y cuestionarse desde una mirada educativa para ampliar el espectro explicativo y no limitarse únicamente a la resolución de ejercicios o la memorización de definiciones.

Del aspecto procedimental se puede destacar que el AHC es un mecanismo que debe emplearse en diversos estudios de caso de la química, la física y la biología con el propósito de mapear y caracterizar los aspectos conceptuales y experimentales que dan forma al conocimiento científico como una actividad humana que está en continua construcción, adaptación, modificación y por ende está abierto a los cambios.

La función complementaria de la HFC se alcanza en la formación de profesores en la medida que la programación del contenido disciplinar de las asignaturas de química de los programas académicos involucra los hallazgos que hasta la fecha se han logrado. De esta manera, el conocimiento químico no se aísla de las problemáticas actuales, sino que podrá emplearse en diversas circunstancias. Es así que, el AHC, sumado a la información de los THC, es significativo para la didáctica de las ciencias porque permite proyectar actividades como las situaciones problema que diversifiquen de manera alternativa la manera como tradicionalmente se lleva a cabo la enseñanza, aprendizaje y evaluación de las ciencias.

De acuerdo con lo anterior, en próximos trabajos se debe avanzar hacia una propuesta programática de la enseñanza de la química para futuros profesores de ciencias naturales que pretendan adquirir conocimiento químico que esté en sincronía con las necesidades e intereses del contexto académico.

Agradecimientos

A Colciencias por la beca otorgada en la Convocatoria Nacional 567 y a la Universidad del Valle por la comisión de estudio doctoral concedida en el marco del Programa de Semillero Docente.

Referencias

- Ayala, M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-Posições*, 17(1), 19-37.
- Bensaude-Vincent, B. & Stengers, I. (1997). *Historia de la química*. Madrid, España: Addison-Wesley Iberoamericana, S.A.
- Brock, W. (1998). *Historia de la química*. Madrid, España: Alianza Editorial.
- Caamaño, A. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la química. En A. Jiménez (Ed.), *Enseñar ciencias* (pp. 203-240). Barcelona, España: Graó.
- Cabrera, H. G. (2010). *Elementos históricos epistemológicos desde Kuhn que permiten la*

- identificación de aportes para la enseñanza de la combustión*. Universidad del Valle.
- Cabrera, H. G. & García-Arteaga, E. G. (2014). Historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias: el caso de la reacción química. *Revista Brasileira de História Da Ciência*, 7(2), 298-313.
- Cabrera, H. G. & Quintanilla, M. (2014). Un análisis de la estructura de dos experimentos asociados a la combustión: algunas implicaciones para la formación inicial docente. En M. Quintanilla, S. Daza, & H. G. Cabrera (Eds.), *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva aula de ciencias, promotora de ciudadanía y valores* (pp. 202-216). Bogotá, Colombia: Belaterra.
- Carrillo, L., Morales, C., Pezoa, V., & Camacho, J. P. (2011). La historia de la ciencia en la enseñanza de la célula. *Tecné, Epistémé y Didaxis*, (29), 112-127.
- Fernández, J., Medina, M., & Elórtégui, N. (2003). Enseñar a profesores de secundaria con situaciones problemáticas. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 2(3), 477-488.
- Flick, U. (2004). *Introducción a la investigación cualitativa*. Madrid, España: Ediciones Morata, S. A.
- García-Arteaga, E. G. (2011). *Las prácticas experimentales en los textos y su influencia en el aprendizaje. Aporte histórico y filosófico en la física de campos*. Universidad Autónoma de Barcelona.
- García-Arteaga, E. G. (2014). Análisis histórico-crítico del fenómeno eléctrico: hacia una visión de campos. *Física y Cultura*, (9), 1-29.
- García-Arteaga, E. G. & Estany, A. (2010). Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias. *Praxis Filosófica*, (30), 7-24.
- García-Carmona, A. (2006). Una propuesta de situaciones problemáticas en la enseñanza del principio de conservación de la energía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 496-506.
- Gillespie, R. J. (1997). The Great Ideas of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 74(7), 862-864.
- Hernández, R., Fernández-Collado, C., & Baptista, P. (2008). *Metodología de la investigación* (4ª Ed.). México, DF: McGraw-Hill.
- Ihde, A. (1984). *The Development of Modern Chemistry*. New York, NY: Dover Publications, Inc.
- Izquierdo, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las Ciencias Sociales*, 6, 125-138.
- Lavoisier, A. (1798). *Tratado elemental de química*. Madrid, España: Imprenta real.
- Leicester, H. M. (1967). *Panorama histórico de la Química*. Madrid, España: Alhambra.
- Leicester, H. M. & Klickstein, H. (1952). *A source book in chemistry 1400-1900*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Mayow, J. (1674). *Medico-physical Works: Being a Translation of Tractatus Quinque Medico-physici*. London, UK: The Alembic Club.
- Mora, W. M. (1999). Modelos de Enseñanza-Aprendizaje y Desarrollo profesional: Elementos para la Cualificación Docente. *Revista Educativa Volunt@d*, 3, 4-16.
- Mortimer, E. F. & Miranda, L. C. (1995). Transformações: concepções de estudantes sobre reações químicas. *Química Nova Na Escola*, (2), 23-26.
- 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* (pp. 275-298). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Seferian, A. E. (2010). Situaciones problemáticas de Química diseñadas como pequeñas investigaciones en la escuela secundaria desde un encuadre heurístico a partir de una situación fortuita que involucra reacciones ácido-base. *Educación Química*, 21(3), 254-259.
- Sierra, C. E. de J. (2006). La reproducción de experimentos históricos en relación con la forja de ethos científico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(1), 60-76.
- Spencer, J. (1992). General chemistry course content. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 182-

186.

- Stiefel, B. M. (1996). Aproximación didáctica a textos científicos originales. *Alambique (Versión Electrónica)*, (08), 1-7.
- Muñoz, F., Valencia, E., & Cabrera, H. G. (2017). Situaciones Científicas Escolares Problematicadoras a partir del análisis del Experimento V de Robert Boyle. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 115 –125.
- Velasco, J. (2008). Historia de la ciencia y enfoque historiográfico en libros de Ciencias Biológicas de Educación Básica y Educación Media Diversificada Profesional en Venezuela. *Revista de Investigación*, (64), 63-84.

On Sal Nitrum and Nitro-Aërial Spirit 19

agile, they seem to be much better suited for executing a swift and fiery movement than the crasser and very soft sulphureous particles.

But the reason for the notion that it is the sulphureous rather than the nitro-aërial particles which take fire is, that the grosser sulphureous nutriment of fire is always in view, while the nitro-aërial particles are so fine and subtle that they quite escape observation, and yet it is certain that nitro-aërial particles are not less necessary than sulphureous particles for the production of fire.

The following experiment confirms what has been said, viz., if nitre be put into a hot crucible it will soon liquefy but will not take fire, although oil will immediately burn if thrown into the crucible. The inference from this is that the fiery particles which penetrate the glowing crucible are not of a sulphureous nature, for otherwise the nitre would be kindled by the fiery particles mixed with it, for sulphur particles when mixed with melted nitre immediately ignite it. But the proof that the igneous particles collected in the heated crucible are of a nitro-saline nature is this, that any sulphureous matter cast into the said crucible is ignited by those particles; but sulphureous particles are not thrown into a state of extremely rapid and fiery motion without the aid of nitro-aërial particles.

We remark further that sulphureous particles are of so crass a nature that we can scarcely imagine, however heated they may be and however minutely divided, that they will become so subtle and nimble as to be able to penetrate, like fiery particles, metals, glass, and such like very solid things, and this seems to be confirmed by the following experiment. For let a polished metal plate be kept for some time in the

flame of a candle so that the igneous particles deeply penetrating the said plate make it hot. But that the igneous particles entering the plate are the nitro-aërial particles of fire and not sulphureous is evident from this, that the sulphureous particles adhere to the outer surface of the plate in the form of soot and do not at all penetrate the plate. And yet we cannot doubt but that the sulphureous particles adhering to the plate were on fire, as far as their nature allows. For it must be supposed that the sulphureous particles which ascend from the wick into the flame are on fire from their first entrance into the flame, since the flame could not be produced without the burning of sulphureous particles. Nay, the black colour of these particles indicates a burning of some sort. But this will be made clearer by what will be said below.

Finally, the nitro-aërial particles in *the flame produced by solar rays* collected by a burning-glass are particularly bright. This celestial flame appears to be due merely to the nitro-aërial particles of the atmosphere set in fiery motion by the action and intense impulse of light. And this we must suppose is the reason that antimony, when calcined by the solar beams, is fixed and made diaphoretic, just as if it were changed into *Bezoardicum minerale* by spirit of nitre poured upon it and drawn off again and again. Indeed, it is probable that it is the nitro-aërial particles with which that spirit abounds, and in some motion of which the solar rays consist, that fix antimony and render it diaphoretic. It favours this view that antimony acquires a diaphoretic virtue, not only from the spirit of nitre and the solar rays, but also from the flame of nitre in which nitro-aërial particles are more densely collected. Nor should it be overlooked that antimony, calcined by

the solar rays, is considerably increased in weight, as has been ascertained by experiment. Indeed, we can scarcely imagine any other source for this increase of the antimony than the nitro-aërial and igneous particles fixed in it during calcination.

I am aware that it is the common opinion that the diaphoretic virtue of antimony is due to the loss of its extraneous and combustible sulphur in its calcination. But I am not sure that this view is quite consistent with truth. For it is well known that if antimony and nitre are mixed and thrown into a heated crucible, a very impetuous flame will arise from them, since the sulphur of the antimony ignites the nitre mixed with it. If, however, the antimony has detonated (as the chemists phrase it) with about a double quantity of nitre, then nitre mixed with it will no longer produce a flame, since the combustible sulphur of the antimony has been entirely removed in the first detonation. And still the antimony has not yet acquired the diaphoretic virtue. Hence, for its further fixation, charcoal or some sulphureous matter should be put from time to time into the crucible in which the antimony, along with the nitre last added to it, has been fused, so that the nitre may ignite and the antimony be fixed by its long-enduring flame. Clearly, then, the fixation of antimony appears to be caused, not so much by the removal of its extraneous sulphur, as by the fixation in it of the nitro-aërial particles in which the flame of nitre abounds.

The reason why an addition of tartar to nitre contributes greatly to the fixation of antimony is obvious from what has been said. For I think it must be attributed to the tartar being imbued with such sulphur as is suitable for gradually and thoroughly

burning the nitre. For tartar mixed with nitre effects its calcination in the best way, as has been shown above. And hence it is that antimony kept in the flame of nitre, kindled by the sulphur of tartar and long burning, is fixed by the nitro-aërial particles of the nitre and becomes diaphoretic. Nor is it probable that salt of tartar contributes anything to the fixation of antimony. For a fixed salt such as that of tartar is quite unsuitable for exalting the emetic property of antimony. Otherwise salt of tartar, but not tartar itself, would have to be used for the calcination of antimony. We remark, lastly, with respect to the fixation of antimony, that it appears advisable to begin its calcination in the first instance with nitre alone, so that the nitre may kindle and remove the impure sulphur of the antimony, and then to mix tartar with the nitre, that the remainder of the nitre, now that the sulphur of the antimony has been removed, may be burned by the sulphur of the tartar, and the fixation of the antimony completed.

By this hypothesis of ours, it is not difficult to explain why fires that burn with a bright flame purify the air from pestilential miasma, and are consequently so beneficial in contagious diseases. For no doubt the nitro-aërial particles which are inhaled by animals in respiration (as will be shown below) approach from all sides for the production of the flame, and are hurried along in it with a motion of the greatest velocity. And the result is that these particles are purged by the motion and the fire from their poisonous taint. But the subject of fire will be treated more fully in Chapter VII.

CAPÍTULO 6

Agnes Pockels: pionera del estudio de la tensión superficial

Dra. Núria Solsona-Pairó
Universitat Autònoma de Barcelona
nsolsona@xtec.cat

Dra. Carol Joglar
Universidad de Santiago de Chile
carol.joglar@usach.cl

Profesor Cristian Garrido
Colegio José Joaquín Prieto, Santiago de Chile

Contenidos

Resumen

6.1 Introducción

6.2 Una biografía de Agnes Pockels

6.3 Contexto de la investigación

6.4 Desarrollo de la investigación

6.5 Proyecciones y conclusiones

Anexos

Referencias

Agnes Pockels: pionera del estudio de la tensión superficial

Resumen

Este capítulo tiene como objetivo mostrar los resultados de una propuesta para la enseñanza de la tensión superficial, desde el estudio de la historia de la ciencia, con un enfoque de género. La propuesta proviene del estudio de la tensión superficial y el trabajo de investigación desarrollado por Agnes Pockels, un ama de casa quien, aunque no le permitieron estudiar ciencias, realizó importantes estudios en la cocina de su casa, sobre las monocapas y la tensión superficial. Estos estudios fueron parte de la base del Premio Nobel de Química a inicios del siglo XX, sin embargo, no vemos su trabajo reflejado en los libros y tampoco el reconocimiento a sus aportes es citado en los colegios. Esta propuesta se compone de dos instrumentos que se usan en la fase de introducción de nuevos conocimientos de una unidad didáctica diseñada dentro del ciclo de aprendizaje constructivista. El primer instrumento es una biografía de Agnes Pockels y el segundo es un protocolo de mediación lingüística que puede ser utilizado junto a la carta que escribió Agnes al Lord Rayleigh, al presentar los resultados de sus investigaciones.

6.1 Introducción

La historia de la ciencia puede tener un papel significativo en el desarrollo profesional del profesorado y sus concepciones sobre la actividad científica. Conocer la historia de la ciencia y su rol en el desarrollo de la misma tiene especial importancia en la enseñanza-aprendizaje de la ciencia escolar. En este contexto tener en cuenta los hombres y mujeres que aportaron a sus avances permite al estudiantado un enfoque diacrónico, donde se toman en cuenta los valores, tradiciones y contextos en torno a los cuales ocurrió el desarrollo de conceptos centrales para la ciencia y su enseñanza.

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 esta 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.

Sin embargo, el relato de la historia de la ciencia no ha sido justo en acreditar el rol de las científicas en este desarrollo, como lo menciona Solsona (2014, p. 155) “si la participación de las mujeres en la historia de la ciencia no ha sido exactamente igual a la de los hombres, tampoco puede ser analizada de la misma forma”, se hace necesario realzar este rol, puesto “que ellas han sufrido un doble exilio” como lo menciona la misma autora. Bajo estas circunstancias, queremos destacar el rol que tuvo Agnes Pockels en los estudios iniciales de la dinámica de fluidos, y la importancia de los mismos sobre los avances en la física, química y la biología en especial en lo que se refiere a los avances de los estudios de

la membrana plasmática, los modelos explicativos sobre su funcionamiento (Joglar, Quintanilla, Ravanal, & Brunstein, 2011), desde los cuales se han permitido significativos avances de la química farmacéutica y de la biofísica.

Actualmente en todos los países se requieren estímulos para promover que las chicas y algunos chicos realicen estudios de ciencias en la enseñanza secundaria, para posteriormente incorporarse en los estudios universitarios de ciencias y tecnología. En este contexto es fundamental ofrecer modelos de imitación y referencia de mujeres científicas en los que las chicas y parte de los chicos puedan identificarse. La trayectoria vital y profesional de Agnes Pockels puede ser muy útil para que el profesorado la utilice y promueva su discusión en las aulas.

Dar a entender la importancia de la contribución femenina a la historia de la ciencia es el eje central de esta propuesta, donde se intenta aportar a la construcción de saberes conceptuales sobre la tensión superficial a partir de los escritos realizados por Agnes Pockels, y del contexto y momento histórico en que realizó sus investigaciones. Analizar sus escritos y situarla en su mundo (Solsona, 2014) y en su cultura resulta fundamental para comprender sus textos.

La enseñanza de la tensión superficial en la escuela debe promover la explicación de los fenómenos involucrados que permitan al estudiantado el uso de estos conocimientos en su vida cotidiana. De acuerdo con Meléndez, Arroyo, Aguilar, & Soto (2011, p. 46) todavía en el primer año de un curso universitario “los estudiantes demuestran desconocimiento de la estructura que adquieren los átomos al unirse por enlace químico para formar la molécula de agua... demuestran desconocimiento de la composición química y propiedades de la molécula de agua”. En este contexto, proponemos el uso de la historia de la ciencia desde un enfoque de género para enseñar la tensión superficial del agua en la enseñanza media.

Esta propuesta se realiza para una de las fases del ciclo de aprendizaje constructivista propuesto por Sanmartí (2002), el cual se compone de cuatro etapas: la primera es la exploración de ideas previas; la segunda, la introducción a nuevos conocimientos; la tercera, la sistematización; y finalmente la aplicación o transferencia de los conocimientos. Nuestra propuesta está diseñada para la fase de la introducción de nuevos conocimientos del ciclo de aprendizaje.

El conocimiento no puede transferirse simplemente a través de palabras, es necesaria la interacción social. La interacción social incluye todas las acciones realizadas entre las personas humanas en el proceso de aprendizaje más allá del lenguaje verbal. A través del diálogo, la comunicación y la clarificación se construye el aprendizaje que se realiza en la comunidad de aprendices (Turpin, 1992). El lenguaje establecido por los padres de la ciencia olvidó el lenguaje de género. Todo ello conllevó el desarrollo de una ciencia masculina (Keller, 1985). Esta ciencia, considerada como un conocimiento socialmente

construido, tuvo grandes implicaciones para las mujeres del siglo XIX que no pudieron participar de forma fácil en ella.

El interés de las mujeres por la ciencia fue evidente antes del año 1600 y se fue ampliando durante los años 1700. Este interés se subestimó hasta la mitad de los años 1800, pero las mujeres científicas, *the scientific ladies*, eran mujeres interesadas por la ciencia que no querían participar en la ciencia como ocupación de tiempo completo (Phillips, 1990). Los movimientos europeos de mujeres desde 1880 a 1920 dirigieron su atención una vez más al tema de la habilidad de las mujeres para contribuir a la actividad científica. En 1888, un periódico con el título *La Revue Scientifique des Femmes* fue fundado en París. En 1894, el movimiento saint-simoniano en París auspició la primera conferencia de los tiempos modernos sobre mujeres y ciencia, del cual surgió el libro de Alphonse Rebière *Les femmes dans la science*. El mismo año Elise Olsener publicó su *Lestungen der duitschemn Frau* (Logros de las mujeres alemanas), en el que prestaba especial atención a los éxitos de las mujeres científicas (Schiebinger, 1991).

Para poder explicar los factores sociales que ayudan a la integración de las mujeres en las actividades científicas hay que prestar atención específicamente a las oportunidades educativas, a su estatus social y al desarrollo de su entorno científico a través de las instituciones presentes (Solsona, 2015).

6.2 Una biografía de Agnes Pockels

Agnes Luise Wilhelmine Pockels nació el 12 de febrero de 1862, en la ciudad de Venecia (actual Italia), que, en aquella época, estaba dominada por el imperio austriaco, y de cuyo ejército su padre era oficial. Cuando tenía nueve años, su padre contrajo malaria, por lo que dejó el ejército y su familia se trasladó a Brunswick, en el norte de Alemania. En aquella ciudad frecuentó una escuela secundaria para chicas durante siete años, donde desde pequeña demostró su interés por las ciencias, sin embargo, en aquella época el currículo escolar de ciencias presentaba escasos contenidos del área. Después de siete años de escuela, no pudo realizar estudios universitarios, ya que en aquella época no se les permitía el acceso a la universidad a las mujeres. Cuando finalmente se pudo, sus padres no lo permitieron, quedando bajo su responsabilidad, los quehaceres de la casa y el cuidado de sus padres (Derrick, 1982; McCarthy, s. f.).

En general las actividades rutinarias de la casa no generan curiosidad, sin embargo, para Agnes no fue así, con 18 años, las burbujas de jabón y el efecto que este producía en el agua y la suciedad le despertaron gran interés, por lo cual se propuso entender el estado anómalo de la superficie de la agua. Si se utiliza poco jabón, el agua no arranca el aceite pegado a la suciedad. Y si se utiliza demasiado jabón se forma un baño de burbujas. Para iniciar su trabajo, Pockels desarrolló un instrumento casero, cuyo objetivo era medir los cambios de la tensión superficial del agua, frente a diferentes aceites y jabones con los cuales trabajaba (Williams, 2001).

Pockels, ante la negativa a poder continuar estudios superiores, intentó seguir otros caminos formación científica y anotó en su diario:

He intentado continuar mi educación con mis propios instrumentos, en primer lugar he utilizado un pequeño texto de Pouillet-Müller y hasta 1883 por los libros conseguidos a través de mi hermano, Friederich Pockels que es tres años más pequeño que yo y ha llegado a ser profesor de física, pero que ahora está estudiando en Göttingen. Sin embargo, este tipo de formación no me ha permitido llegar muy lejos respecto a la aproximación matemática a la física, por lo tanto lo que más lamento es tener poco conocimiento sobre las materias teóricas.

Pockels nunca se quejó de ser la responsable de las tareas del hogar que habitualmente recaen en el ama de casa. A través de la observación de una cosa que manipulaba cada día, el agua sucia de lavar los platos, quedó fascinada con el efecto de las burbujas en el agua. Las burbujas de jabón pueden ser divertidas durante mucho tiempo y muestran colores que van variando a lo largo del tiempo. Es muy común observar el rápido movimiento en la superficie del agua cuando el jabón entra en contacto con el agua. Durante los siguientes diez años, Pockels investigó surfactantes, sustancias que reducen la tensión superficial cuando se disuelve en una disolución acuosa. Ella añadía sales a una disolución, anotaba los flujos de corrientes resultantes, y medía los cambios en la tensión superficial con un flotador colocado en la superficie del líquido atado a una balanza.

Su cuñada Elizabeth Pockels escribió:

A menudo sus estudios fueron llevados a cabo en la cocina donde Agnes, siendo la hija de la ama de casa, tenía que realizar sus tareas, un sitio que siempre era agradable y acogedor. De esta manera, Agnes llevaba a cabo sus primeras observaciones en el campo de la tensión superficial. Es realmente cierto, y no es una broma o una licencia poética: aquello que millones de mujeres ven cada día sin ningún interés y están ansiosas de librarse, por ejemplo, la grasienta agua de lavar, animó a esta chica a realizar observaciones y además a llevar a cabo... investigaciones científicas (Giles & Forrester, 1971).

Pockels empezó el trabajo experimental a los dieciocho años y fabricó el recipiente con cursor a los veinte años. Se trataba de un instrumento casero para medir la tensión superficial del agua con los diferentes aceites y jabones con los que trabajaba (Williams, 2001). Empezó a realizar observaciones cuantitativas y rápidamente encontró que necesitaba un aparato para medir la tensión superficial en diferentes condiciones. Diseñó un aparato a partir de un viejo bote de extracto de carne, un botón con un hilo de seda, algunas reglas y una balanza de boticario. Ella anotó en un cuidadoso diario todas sus

observaciones en un cuaderno escolar. Le pidió a alguien que le hiciera un modelo más preciso para su trabajo y comenzó a hacer mediciones sistemáticas.

El tema de las monocapas la llevó a trabajar e investigar durante cerca de once años, hasta que en una de las cartas enviadas por su hermano Friederich, que era físico, le contaba acerca de una publicación de Lord Rayleigh, donde relataba las propiedades de una capa fina de aceite sobre el agua. En ese momento se dio cuenta de que había otra persona que estaba realizando estudios en el tema que le interesaba (Williams, 2001). Inmediatamente escribió una carta a Lord Rayleigh, contándole los resultados que había obtenido en sus investigaciones. El científico quedó tan impresionado, que le pidió a su esposa que tradujera al inglés la carta de Pockels, la cual envió junto a un artículo suyo a la revista *Nature* donde reconoció los avances que había tenido Agnes en el estudio de las monocapas.

En 1891, unos diez años después que empezara su trabajo experimental, Pockels realizó su primera publicación. En el anexo reproducimos la nota de introducción de Lord Rayleigh y el artículo que incluía la traducción de los experimentos de Miss Pockels con los resultados detallados (Pockels, 1891).

Agnes Pockels publicó dieciséis artículos con su trabajo (1891, 1892, 1893, 1894, 1898, 1899a, 1899b, 1902, 1909, 1914, 1916a, 1916b, 1917, 1918, 1926 y 1933). Sus artículos se ocuparon de la balanza horizontal, la tensión superficial, los ángulos de contacto, el efecto de la contaminación de la superficie de agua, el grosor de las monocapas en el agua, las propiedades de los surfactantes y la tensión superficial en las soluciones líquidas. Sus artículos fueron un gran paso adelante en el nuevo campo de la ciencia de la tensión superficial. En 1893, la Universidad de Goettingen le ofreció un laboratorio de investigación, pero debido a sus obligaciones domésticas no pudo aceptarlo.

Agnes nunca dejó de ser ama de casa, dedicada al cuidado de su familia, en especial sus padres. A inicios del siglo XX, la salud de sus padres empeoró, lo que requirió la más atención de Agnes, quedando con poco tiempo para avanzar en sus estudios. Después de la primera guerra mundial, su hermano murió, ella tuvo problemas de salud y dejó de realizar experimentos. Pockels dijo:

Animada por el apoyo de Lord Rayleigh y las publicaciones en la revista *Nature*,... me atreví a publicar artículos en las revistas alemanas, y realicé investigaciones exitosas durante diez años. El cuidado de mis padres enfermos fue un gran reto, por lo tanto después de 1902 hice pocos experimentos, pero realicé la traducción y escribí los comentarios para "Beiblätter zu den Annalen", que mi hermano editó.

En 1909 publiqué mis observaciones de los ángulos de contacto... Cuando mi hermano murió en 1913, me sepultaron las alarmas de la guerra y el período de la posguerra y el *Beiblätter (zu den Annalen der Physik)* dejó de publicarse; yo no estaba en condiciones de conseguir literatura relevante y al final perdí completamente el contacto con la investigación en mi campo, el deterioro de la vista y de mi salud en general fueron otro factor de influencia.

En los últimos años Agnes Pockels recibió los reconocimientos bien merecidos por su trabajo. En las notas autobiográfica de Wolfgang Ostwald *Die Arbeiten von Agnes Pockels über Grenzflächen und Filme*, ella explica la interrupción de sus publicaciones en 1918, por causas familiares.

En el año 1931 le fue otorgado el premio Laura Leonard por la investigación cuantitativa de las propiedades de las capas superficiales y las monocapas de la Sociedad Alemana de Coloides. El premio fue también por los métodos utilizados que desde entonces fueron fundamentales en la ciencia moderna de los coloides. En el año 1932, recibió un título de doctor honoris causa de la Technical University Braunschweig cuando cumplió 70 años, viniendo a fallecer tres años después (Derrick, 1982). El mismo año Wolfgang Ostwald publicó un análisis honorífico de la investigación de Agnes Pockels, en su setenta cumpleaños diciendo que “todos los colegas que están implicados en la investigación de las monocapas deberían reconocer que los fundamentos del método cuantitativo en este campo... fueron establecidos por (sus) observaciones hace cincuenta años”.

Uno de los ácidos grasos utilizados por Miss Pockels en la formación de las monocapas en la superficie del agua es el ácido esteárico, que después fue también utilizado por Irving Langmuir y Katharine B. Blodgett en sus estudios acerca de la química de superficies. Langmuir, un científico investigador industrial en General Electric en Schenectady, New York, estudió el trabajo de Rayleigh y Pockels, entre otros, lo que abrió camino a su investigación acerca de las monocapas, estableciendo que en ellas las moléculas adoptan una orientación común. Por ejemplo, en el agua las partes hidrófobas se orientan hacia el exterior del agua y las partes hidrófilas se orientan hacia el agua. Langmuir recibió el Premio Nobel de Química en 1932. Después de la presentación, el comité del Nobel decidió iniciar la tradición de filmar a los científicos en sus laboratorios hablando de su trabajo. Resultó que Langmuir fue el único laureado que se filmó, dejando la mitad del tiempo del film a su asistente Katherine Blodgett. Su investigación conjunta había demostrado que la orientación preferencial de las monocapas podía usarse para amontonar monocapas de moléculas seleccionadas de cualquier viscosidad deseada, un resultado que hoy se conoce como las capas de Langmuir-Boldgett.

Las técnicas desarrolladas por Pockels fueron usadas por la química física para definir las propiedades físicas de las moléculas orgánicas antes de la aparición de la difracción de rayos X. Sus métodos de garantizar una superficie nítida, esenciales en este tipo de trabajo, fueron universalmente adoptados como una práctica estándar en esta rama de la física.

6.3 Contexto de la investigación

Esta investigación fue realizada en dos colegios de dependencia subvencionada de la Región Metropolitana de Santiago. El curso del colegio A tiene 22 estudiantes: 16 chicas y 6 chicos. El curso del colegio B tiene un total de 16 estudiantes: 9 chicas y 7 chicos. Totalizando 38 estudiantes de catorce y quince años que respondieron los protocolos. La actividad se realizó utilizando dos protocolos de trabajo: el protocolo 1 (protocolo carta) buscaba profundizar en el análisis de la carta de Agnes Pockels al lord; y el protocolo 2 (protocolo biográfico) buscaba profundizar en la biografía de la científica.

La biografía tiene como objetivo que el estudiantado consiga contextualizar el entorno en el cual se dieron avances significativos para el estudio de las monocapas y la tensión superficial del agua. La carta tiene como objetivo que el estudiantado pueda tener acceso al lenguaje utilizado por Agnes Pockels, además del relato de sus observaciones y conclusiones acerca de la tensión superficial del agua. La carta es un instrumento de mediación lingüística, en que el profesorado puede trabajar la contextualización histórica de cómo emerge esta noción científica.

El análisis del contenido de la carta y de la biografía se ha realizado mediante varias preguntas, teniendo en cuenta dos dimensiones. La primera dimensión se refiere al contexto histórico del trabajo de Agnes Pockels a partir de la biografía. Y la segunda dimensión analiza la carta de Agnes Pockels a Lord Rayleigh.

En el análisis de la biografía se han utilizado varias preguntas según las categorías propuestas por Solsona (2012) que funcionan como protocolo lingüístico. En este caso, el estudiantado puede identificar los significados científicos y filosóficos, y el contexto científico en el que Agnes Pockels estuvo trabajando.

Para el análisis de la carta incluida en el anexo 1 se ha utilizado un protocolo de medición lingüística (instrumento 1) que el profesorado propone tras la lectura de la carta por el estudiantado:

1. Analiza el primer párrafo de la carta y de acuerdo a lo leído en la biografía, ¿por qué Agnes usaba ese lenguaje para dirigirse a Lord Rayleigh?
2. ¿Cuáles fueron los cuatro resultados de sus investigaciones discutidos por Agnes Pockels en su carta?

3. Escoge un párrafo que según tu opinión tiene gran importancia y reescríbelo utilizando un lenguaje científico actual.
4. Si tú fueras Agnes Pockels, ¿qué mecanismo hubieras utilizado para que los científicos de la época valoraran tus investigaciones?

Para el análisis de los datos se propone el protocolo a continuación que tiene como objetivo caracterizar las dimensiones propuestas en el instrumento 1:

Nº	Categoría	Descripción de la categoría	Pregunta
1	Objetivo de la investigación	Identifica el objetivo de la investigación y su realización.	¿Sobre qué realizaba su investigación Agnes Pockels?
2	Conclusiones	Identifica de manera comprensiva las conclusiones de su investigación.	¿A qué tipo de conclusiones llegó Agnes Pockels en los resultados de su investigación?
3	Conocimiento del período histórico	Identifica la principal teoría sobre la tensión superficial en este período histórico.	¿Qué tipo de conocimiento sobre la tensión superficial había en este período histórico?
4	Contribuciones y avances	Identifica las principales contribuciones de la investigación de Agnes Pockels y los principales avances hasta hoy.	Desde la investigación realizada por Agnes Pockels, ¿cuáles son los avances obtenidos hasta el día de hoy?
5	Lenguaje científico	Características del lenguaje científico como instrumento de análisis.	¿Cuáles son las principales características en el lenguaje utilizado por Agnes Pockels?

La segunda actividad (instrumento 2) se propone a partir de la lectura de la biografía de Agnes Pockels y las preguntas que se indican a continuación:

1. Identifica algunos hitos del contexto histórico en aquella época.
2. Al analizar la biografía de Agnes, ¿qué rasgos de personalidad eran dominantes?
3. ¿Cómo te imaginas las condiciones de trabajo de la científica?
4. En su carta a Lord Rayleigh, ¿qué características metodológicas del trabajo de Pockels se pueden identificar?
5. ¿Qué tipo de dificultades en su formación científica enfrentó?

Para el análisis de los datos se propone a continuación el protocolo que tiene como objetivo caracterizar las dimensiones propuestas en el instrumento 2:

Nº	Categoría	Descripción de la categoría	Pregunta
1	Contexto histórico	Principales características del contexto histórico.	Identifica algunos episodios del contexto histórico.
2	Personalidad	Principales características de la personalidad de Agnes Pockels.	¿Cuáles son las principales características de la personalidad de Agnes Pockels relacionadas con su trabajo?
3	Condiciones del trabajo científico	Características y condiciones del milieu en el que se han desarrollado las actividades.	¿Cómo te imaginas las condiciones de trabajo en el período histórico de Agnes Pockels?

4	Características metodológicas	Características del modelo metodológico.	¿Qué tipo de características metodológicas puedes identificar en la carta de Agnes Pockels a Lord Rayleigh?
5	Dificultades	Dificultades educacionales Dificultades familiares/sociales Metodológicas Diseminación	¿Qué tipo de dificultades tuvo que afrontar en su educación?

El análisis de la carta de Agnes Pockels se realiza mediante las preguntas agrupadas en el protocolo lingüístico con el que el estudiantado puede comprender el trabajo de la científica. Además de identificar el conocimiento sobre la tensión superficial en este período histórico y reconocer el avance realizado en este campo hasta nuestros días.

6.4 Desarrollo de la investigación

A continuación presentamos los resultados y análisis de la implementación del protocolo 2 en los cursos referentes a los colegios A y B, para esto se utilizó el software científico Atlas ti 6.2, donde se codificaron los relatos de cada estudiante en cada pregunta del protocolo 2.

La pregunta 1 buscaba identificar los hitos del contexto histórico que se destacaban en la época que vivió Agnes Pockels. El hito que identifican es la Primera Guerra Mundial, sin embargo, no conectan cómo esta pudo interferir en el desarrollo de las investigaciones realizadas por la señorita Pockels.

La pregunta 2 del protocolo biográfico tiene como objetivo identificar los rasgos de personalidad que, según el estudiantado, presentaba la científica. Esto nos ha permitido identificar la frecuencia de adjetivos que se proponen a la personalidad de Agnes Pockels, los cuales se identifican a partir de 38 respuestas y se presentan a continuación en la forma de una nube de palabras (construida con el programa online Wordle).



Figura 1. Nube de palabras que representa la frecuencia de los adjetivos atribuidos por el estudiantado a Agnes Pockels.

La pregunta 3 busca identificar, desde el enfoque del estudiantado, cómo era el ambiente de trabajo en que la científica desarrollaba sus investigaciones. Las respuestas del estudiantado se pudieron sistematizar en la figura a continuación, la cual se centra en dos

grandes condiciones mencionadas por los alumnos. La primera es la precariedad del ambiente, esto podría deberse a la imagen de ciencia y la naturaleza del trabajo científico que poseen. La imagen a continuación demuestra lo comentado.

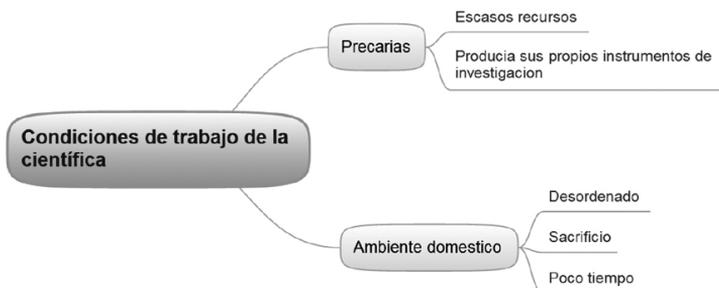


Figura 2. Ejes en los cuales se centran, según el estudiantado, las condiciones de trabajo de la científica.

A partir de esto se puede comprender que, al desarrollar el trabajo en un ambiente doméstico, este debería ser desordenado y realizado con gran sacrificio, debido al poco tiempo que, según el estudiantado, ella debía tener para dedicarle a la investigación. Esto se identifica en algunas frases del estudiantado, por ejemplo, en lo que se refiere al ambiente doméstico en el cual trabajaba “...todo un caos y un desorden descomunal, ya que experimentaba demasiado, además tenía que estar al tanto de la casa y sus familiares enfermos. Así que no creo que tenga demasiado tiempo para mantener un orden” (P3: 21). Otro ejemplo en relación con las condiciones precarias que, según el estudiantado, desarrollaba sus investigaciones, menciona “...malas condiciones, ya que ella no tenía los implementos y los tenía que fabricar con lo que tenía, además no tenía un espacio propio y adecuado como un laboratorio para realizar sus experimentos” (P3: 33)

La pregunta 4 requiere que el estudiantado identifique características del trabajo metodológico desarrollado por la científica, que se pueden identificar en la carta que escribe a Lord Rayleigh. Pudimos organizar las respuestas del estudiantado a través de la frecuencia de adjetivos a la metodología que utilizaba, los cuales, de cierta manera, también son adjetivos que describen a la investigadora. Estos adjetivos no son proporcionados literalmente por el estudiantado, sino que se extraen de las respuestas y explicaciones que presentan. A continuación, se muestra una nube de palabras que resume los comentarios del alumnado (construida con el programa online Wordle).



Figura 3. Nube de palabras que identifica la frecuencia de los adjetivos atribuidos por el estudiantado a la metodología utilizada por Pockels.

Es interesante verificar que, a pesar de que en la pregunta 3 responden que su ambiente de trabajo es desordenado, cuando se busca identificar los adjetivos a la metodología utilizada por Pockels, podemos ver que se destacan el ser detallista, creativa, ordenada, metódica.

La pregunta 5 busca identificar si el estudiantado reconoce las dificultades enfrentadas por Agnes, en especial aquellas de naturaleza educativa, familiar-social y de divulgación de sus trabajos. Estas no fueron preguntadas directamente, porque la idea era verificar cuáles de ellas eran identificadas. Esto se sistematiza en la figura a continuación.



Acerca de las dificultades encontradas, la mejor identificada por los estudiantes fue sobre el acceso a la educación, siendo las dificultades en su educación superior lo predominante. Algunos/as identificaron también la poca enseñanza de ciencias en la escuela, esto se identifica de la siguiente manera: “cuando quiso estudiar en la universidad, esta no permitía el ingreso de mujeres, más tarde sus padres no la dejaron” (P5: 37). El tema de la escuela se verifica también en la frase: “La escuela a la que asistió no ofreció gran contenido en el área científica” (P5: 18). En lo que se refiere a las dificultades familiares-sociales, la gran mayoría identificó la sociedad y la familia como los responsables de que Agnes no pudiera acceder a los estudios en ciencias; un estudiante menciona: “Debido a la sociedad que había en ese tiempo tuvo la necesidad de buscar por otros medios que los tradicionales como la universidad” (P5: 18). En otra frase representativa se menciona: “En ese tiempo las mujeres no podían acceder a estudios superiores” (P5: 36).

Para completar nuestra investigación sería necesario realizar el análisis comparativo de los resultados obtenidos en los dos colegios a partir del instrumento 1, referente a las respuestas del estudiantado acerca de la carta. Esperamos poder acabarlo en una futura publicación.

6.5 Proyecciones y conclusiones

A modo de conclusión, podemos afirmar que Pockels es un nombre familiar para muchos químicos que estudian las monocapas. Sin embargo, probablemente no saben que fue una mujer quien hizo la mayor parte de su trabajo experimental en casa, en su cocina y que tuvo algunas dificultades para publicar sus resultados. En sus primeros años de trabajo no pudo conseguir un título universitario, puesto que en Alemania, al igual que en otros países, en esta época no estaba permitido el acceso de las mujeres a la universidad.

A pesar de estas dificultades, Pockels realizó contribuciones importantes en los primeros trabajos de la química de las monocapas, que obtuvieron el reconocimiento de sus contemporáneos que la consideraron una autoridad en la materia. En historia de la ciencia, el concepto de autoridad ha sido subestimado o directamente dejado de lado, como si no fuera más que una modalidad de poder. Uno de los principales objetivos de la mirada de género es repensar la autoridad y restablecer su importancia en historia de la ciencia. Y hacerlo desde las reflexiones de Hannah Arendt, rescatando el rol que la *autoritas* desempeñaba en la cultura romana. Arendt indica que “los que están investidos de autoridad no tienen poder”. La autoridad se sustenta en el reconocimiento, la confianza, el crédito o el prestigio.

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 porque 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. Algunas autoras como Marie Meurdrac recurrieron 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, como lo hizo Marie Fouquet (Solsona, 2014).

Agnes Pockels, a pesar de utilizar un itinerario epistemológico diferente al de sus colegas científicos, también fue una mujer con autoridad científica en su época. Sin embargo, esta autoridad quedó posteriormente cancelada hasta que la historia ha recuperado sus aportaciones y puesto su nombre al lado de Rayleigh, Langmuir, Adam, Harkins y Rideal. Su reconocimiento posterior se ha consolidado cuando se confirmó que el área mínima ocupada por una superficie monomolecular es de 20 \AA por molécula, tal como Pockels había señalado en 1891.

A nivel metodológico, para incentivar la presencia de la historia de la ciencia en las aulas es importante continuar con el estudio de las biografías de mujeres y hombres con sus contribuciones a la historia de la ciencia. El estudio de las biografías científicas debe ser contextualizado en su época y entorno social concreto. Es decir, para contextualizar el análisis de una obra científica, hay que considerar el entorno social y regional en el que se crearon las narrativas históricas.

Internet está lleno de información, pero no de conocimiento. Un buen enfoque del aprendizaje requiere cada vez más avanzar hacia una racionalidad narrativa que permita construir un contexto de aprendizaje, que promueva la curiosidad, las ganas de hacernos preguntas, de aprender y que facilite el aprendizaje. El contexto en el que aprendemos requiere la construcción de narrativas propias, que pongan en juego a la persona que aprende. Las ideas que nos guían durante el aprendizaje no son solo de carácter lógico, sino que forman parte de la historia personal. Y el uso de la historia vivida o que se vive es útil para construir las historias personales, buscando las relaciones entre los contextos históricos narrados y los contextos personales.

Anexo 1. Carta de Agnes Pockels

“Me veré obligado de encontrar espacio para compartir la traducción de una interesante carta que he recibido de una señorita alemana, que con electrodomésticos muy acogedores ha llegado a resultados valiosos con respecto al comportamiento de las superficies contaminadas. La primera parte de la carta de la señorita Pockels cubre casi el mismo terreno que algunos de mi propio trabajo reciente y en principio armonizo con ella. Las secciones posteriores me parecen muy sugerentes, levantando sin responder plenamente, muchas preguntas importantes. Espero pronto encontrar la oportunidad de repetir algunos de los experimentos de la señorita Pockels”. Rayleigh, 2 de marzo de 1891. *Brunswick, 10 de enero de 1891*

“Mi Señor, ¿excusaría amablemente mi aventura de enviarle una carta en alemán sobre un tema científico? Habiendo oído hablar de las investigaciones fructíferas llevadas a cabo por años en las propiedades hasta ahora poco entendidas de la superficie del agua, pensé que podría interesarle saber de mis propias observaciones sobre el tema. Por diversas razones, no estoy en condiciones de publicarlas en revistas científicas, y por lo tanto adopto este medio de comunicar a usted lo más importante de ellas.

En primer lugar, voy a describir un método sencillo, que he empleado durante varios años, para aumentar o disminuir la superficie de un líquido en cualquier proporción, por el cual su pureza pueda alterarse a voluntad.

Una cubeta de lata rectangular, de 70 cm de largo, 5 cm de ancho, 2 cm de alto, se llena de agua hasta el borde, se ponen tiras de estaño de aproximadamente 1 ½ cm de ancho estableciendo a través de ella un canal perpendicular a su longitud, de modo que el lado inferior de la tira está en contacto con la superficie del agua, y la divide en dos mitades. Al

cambiar esta partición a la derecha o a la izquierda, la superficie a cada lado se puede alargar o acortar en cualquier proporción, y la cantidad de desplazamiento puede ser leída fuera en una escala realizada a lo largo de la parte delantera de la cubeta.

Sin duda, este aparato sufre, como voy a señalar ahora, de una cierta imperfección, la partición nunca se cierra por completo fuera de las dos superficies separadas una de la otra. Si hay una gran diferencia de tensión entre las dos partes, una corriente de retorno a menudo se abre paso entre la partición y el borde de la cubeta (sobre todo en el momento de cambiar). El aparato, sin embargo, responde para alcanzar cualquier condición de la tensión, que sea posible, y en experimentos con superficies muy limpias hay poco que temer en la forma de romper a través de las corrientes.

Yo siempre medí la tensión superficial en cualquier parte de la cubeta a través del peso necesario para separar de ella un pequeño disco (6 mm de diámetro), para lo cual he usado una balanza ligera, con los brazos desiguales y un peso deslizante

Ahora voy a reunir los resultados más importantes obtenidos con este aparato, la mayoría de los cuales, aunque tal vez no todos, deben ser conocidos por usted.

I. Comportamiento de la tensión superficial del agua. La superficie de una superficie de agua fuertemente contaminada es variable; es decir, que varía con el tamaño de la superficie. El mínimo de la separación de peso alcanzado por la disminución de la superficie es el máximo, de acuerdo con el equilibrio, en la proporción de 52:100.

Si la superficie se extiende más allá, después de que se alcanza la tensión máxima, el peso de separación se mantiene constante, como con aceite, espíritus de vino, y otros líquidos normales. Esta comienza, sin embargo, a disminuir otra vez, directamente cuando la partición es empujada hacia atrás hasta el punto de la escala en la que el aumento de la tensión cesa.

La superficie del agua puede pues existir en dos condiciones fuertemente contrastadas; la condición normal, en el que el desplazamiento de la partición no deja ninguna huella en la tensión, y la condición anómala, en el que cada aumento o disminución altera la tensión.

II. Movilidad. La movilidad de la superficie depende del grado de pureza de esta, y en consecuencia la persistencia de una onda una vez puesta en movimiento. Mientras más tiempo, sin embargo, la superficie del agua está en su condición anómala, la amortiguación de las ondas es constante, y justo en el grado de pureza a la que cesa la tensión se comienza a alterar la disminución de la amortiguación.

Si la balanza se carga con solo el peso máximo que la tensión superficial puede contener, y la superficie normal se contrae hasta alcanzar romper su peso, se obtiene una medida de la cantidad relativa de contaminación por la relación de la longitud de la superficie antes y después de la contracción, cuanto más pura sea, menor debe ser la fracción a la que se reduce antes de que comience a entrar en el estado anómalo. Al contar, con diferentes

contaminaciones relativas, la frecuencia de una onda excitada por una pequeña varilla en el extremo de la cubeta pasada a lo largo de la superficie, está ajustada a una longitud de 30 cm antes de dejar de ser visible, obtuve aproximadamente los siguientes valores para el número viajes:

Contaminación relativa	00	05	10	15	20	25	30
Número de viajes de onda visibles	17	17	17	17	12	08	03

Los números de la fila superior indican la longitud en la que la superficie se vuelve anómala en los 30 cm de toda su longitud; los de la segunda fila son, o pueden imaginarse, bastante inciertos, particularmente los mayores, a pesar de que son la media de muchas observaciones.

Una superficie perfectamente limpia, cuya tensión se mantiene constante, incluso bajo la mayor contracción, se puede producir aproximadamente con el canal ajustable, mediante la colocación de la partición bastante al final, y empujándola desde allí hasta el centro. La superficie en un lado se forma así completamente de nuevo, desde el interior del líquido.

III. Efecto sobre una superficie de agua en contacto con los cuerpos sólidos. Cada cuerpo sólido, limpio, sin embargo, que se pone en contacto con una superficie recién formada, contamina más o menos decididamente, de acuerdo con la sustancia de la que el cuerpo se compone. Con muchas sustancias, tales como el alcanfor o la harina, este efecto es tan fuerte que la tensión de la superficial baja a un valor definido; con otros (vidrio, metales) solo se muestra por el aumento de la contaminación relativa. La contaminación de la corriente que sale de la circunferencia de un cuerpo, por ejemplo, de un fragmento de papel de aluminio flotante se hace fácilmente visible espolvoreando el agua con *Lycopodium* o flores de azufre. Voy a llamarlo, en aras de la brevedad, 'la corriente de solución'.

La corriente de solución de un cuerpo que se introduce en una superficie de agua perfectamente limpia dura hasta que lo producido por la contaminación relativa ha alcanzado un valor definido, que es diferente para cada sustancia.

Así, la corriente de solución de cera deja una contaminación relativa de 0,55, la de papel de aluminio es aún más pequeña, pero la de alcanfor, baja hasta que la superficie se ha convertido decididamente en anómala, y el peso que separa ha bajado al 0,80 dentro del máximo. Si, por otro lado, la superficie que rodea a un pequeño trozo de papel de aluminio es restaurada a su pureza anterior, comenzará la corriente de nuevo con fuerza renovada, y parece que este proceso se puede repetir a menudo como se desee sin que la corriente de solución nunca desaparezca bastante.

A partir de este efecto del contacto de los cuerpos sólidos, se deduce que una superficie perfectamente pura no se puede mantener por mucho tiempo en cualquier recipiente, ya que cada recipiente lo contaminaría.

Ya sea que el aire y la materia contenida en él tienen una participación en el aumento gradual de la contaminación relativa que se produce en el agua que queda es permanente, no lo sé; pero la influencia de los gases y vapores no me parecen importantes en general. La contaminación por los costados del recipiente, sin embargo, no siempre va tan lejos como para disminuir la tensión, que sigue siendo normal, por ejemplo, en un vaso de agua, después de cuatro días de reposo.

Con un aumento de la temperatura la contaminación de todas las sustancias parece aumentar considerablemente; pero aún no he investigado esto en detalle.

IV. Corrientes entre las superficies de tensión. Entre dos superficies iguales, que están distintamente contaminadas por una misma sustancia, se establece una corriente conjunta de la más a la menos contaminada cuando se elimina la partición; es mucho más débil, de hecho, que la exhibida en la condición anómala por las diferencias de tensión, pero, de todos modos, claramente perceptible. Con la contaminación relativa igual para la misma sustancia, ninguna corriente se establece, por supuesto. Esto es lo contrario cuando la contaminación se produce por diferentes sustancias.

Si está contaminada la superficie de la partición en un lado por inmersión repetida de una placa de metal, y por el otro por inmersión de una placa de vidrio, que habían sido previamente limpiados cuidadosamente e inmersos repetidamente en superficies de agua dulce. Entonces hice la contaminación relativa en los dos lados iguales (es decir, = 1/2) empujando en las particiones exteriores en las que se incluyen las superficies. Después de que el agua había sido espolvoreada con *Lycopodium*, se retiró el medio de partición. Repetí este experimento en ocho ocasiones, con diferentes cambios ideados como comprobación.

En la eliminación de la partición una decidida corriente se establece en cada momento, desde la superficie contaminada por el vidrio a la contaminada por el metal, y cuando reemplacé después la partición, la corriente había cesado, se investigó la contaminación en ambos lados, y siempre me pareció mayor en el metal que en el lado de vidrio.

Por lo tanto la contaminación relativa igual por diferentes sustancias no indica que la igualdad de presión (¿osmótica?) sea la causa de la corriente entre las superficies de igual tensión.

Para mayor prueba de este resultado he hecho experimentos con otras sustancias; por ejemplo, con un trozo de papel de aluminio flotante en un lado, y de cera en el otro, una vez, después de que habían estado actuando durante un largo tiempo, y luego de que las contaminaciones relativas habían sido igualadas, una corriente resultó de la cera a la del papel de aluminio; y otra vez, con alcanfor en uno, y pequeños trozos de madera y cera en el otro lado, mostró una corriente de la cera y madera hacia el alcanfor.

Dado que, por lo tanto, la superficie del agua asume cualidades diferentes en contacto con diferentes sustancias, la convicción que se me impone es que si estos mismos cuerpos (vidrio, metal, cera, etc.), los cuales se disuelven, aunque solo débilmente en la superficie, la hacen de esta manera capaz bajo suficiente contracción de convertirse en anómala.

V. Otras observaciones sobre la corriente de solución. El siguiente hecho está de acuerdo con esta opinión.

Si una superficie de agua recién formada está contaminada por pequeños trozos flotantes de cera hasta que este cese de dar corrientes de solución, la contaminación relativa asciende a 0,55. Si ahora otra superficie de agua fresca es llevada a la misma contaminación relativa con papel de aluminio y una correspondiente contracción, y luego de introducirse un trozo de cera de la primera superficie, se desarrollará una corriente de solución considerable. Por tanto, esta depende de la sustancia con la que la superficie circundante estaba contaminada previamente.

Sustancias que son adecuadamente solubles en agua, como el azúcar y soda, exhiben un comportamiento similar cuando se sumergen en la superficie, solo que ellos siguen actuando en la condición anómala.

Un cristal de azúcar colocado en una superficie normal pero no perfectamente pura produce una gran caída de tensión. Si la superficie se lleva entonces a la normalidad mediante la inmersión y retiro de tiras de papel, y este proceso se repite varias veces, hasta por fin alcanzar una superficie normal, que está contaminado por el azúcar remanente, la tensión de esta azúcar no produce más efecto. Un pedazo de soda retenida en la superficie que contiene el azúcar en gran medida disminuye la tensión, y por otro lado en una superficie anómala por la soda reproducida repetidamente, la soda actúa pero ligeramente, pero el azúcar actúa poderosamente.

[En este experimento los cristales de azúcar y refrescos que se humedecen al instante, no actúan realmente por la solución de corrientes, esto último solo puede ser producido por un cuerpo seco. La acción aquí es indirecta por la intervención de las más capas profundas. 26 de febrero.]

VI. Comportamiento de las superficies de las soluciones. El efecto de la materia soluble en la tensión superficial no tiene absolutamente nada que ver con el cambio que sufre la cohesión del agua, a través de la materia disuelta en el cuerpo del líquido. Tanto para soluciones de azúcar y refrescos hay una tensión máxima más alta que en el agua pura, y, sin embargo estas mismas sustancias introducidas en la superficie producen una caída en el peso de separación.

Con el fin de investigar el comportamiento de las superficies de las soluciones más estrechamente, introduje una solución saturada de sal común en el bebedero ajustable. La superficie recién formada de la solución de sal mantuvo peso normal de separación (1.154 de la del agua), incluso cuando más se contrajo, aunque necesariamente debe haber

contenido tanta sal como el interior del líquido. La entrada de la condición anómala, entonces, no depende de la cantidad absoluta de la sustancia contaminante contenida en la superficie, pero cuando puse un poco de sal en contacto con la superficie normal de la solución saturada, se dio una corriente de solución y redujo la tensión, como en el caso de agua pura. Se obtuvieron resultados similares con una solución de azúcar. A partir de estos experimentos llegué a la conclusión de (a) que la capa superficial de agua puede ocupar más de las sustancias solubles que el líquido interno; (b) que la superficie de una solución es capaz de convertirse en anómala bajo contracción, siempre y solo, cuando contiene más de la sustancia disuelta que el interior del líquido.

Que la capa superficial realmente posee un poder de disolución más alto se muestra aún más por el experimento, que es bien conocido por usted, en el que un disco delgado de alcanfor colgado, que está inmerso en medio de la superficie del agua más limpia posible, se corta a través del transcurso de unas pocas horas. Tengo que añadir, por cierto, que una superficie recién formada de una solución saturada de alcanfor es normal de acuerdo a mis observaciones, es decir, que su tensión permanece casi constante en la contracción, y que los pequeños trozos de alcanfor flotando en él siguen dando corrientes de solución y tienen movimientos ligeros. La corriente de solución parece en este caso cesar justo cuando la superficie comienza a ser anómala.

Lo que más he observado sobre la superficie de las soluciones y por el estilo, me parece menos notable, y parte de ello sigue siendo muy incierto. Por lo tanto, me limito a estas indicaciones breves, pero creo que mucho podría ser descubierto en este campo si se investiga a fondo. Pensé que no debía retener a usted estos hechos que he observado, aunque no soy un físico profesional; y otra vez pidiendo que disculpe mi atrevimiento, me quedo, con sincero respeto,

Atentamente,
(Firmado) Agnes Pockels.

1: Esto no es del todo exacto. Encontré el número de viajes visibles constante = 3 en el estado anómalo; pero la velocidad de transmisión que varía en algún grado con la tensión, el tiempo necesario para la desaparición de la onda realmente debe llegar a ser un poco más largo cuando la tensión es rebajada. 26 de febrero.

Referencias

- Derrick, E. (1982). Agnes Pockels, 1862-1935. *Journal of Chemical Education*, 59(12), 1030-1031.
- Giles C. H. & Forrester, S. D. (1971). The origins of the surface film balance: Studies in the early history of surface chemistry, part 3. *Chemistry and Industry*, 43-53.
- Joglar, C., Quintanilla, M., Ravanal, E., & Brunstein, J. (2011). *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.
- Keller, E. (1985). *Reflections on Gender and Science*. New Haven, MA: Yale University.

- McCarthy, S. (s. f.). Agnes Pockels. *175 faces of chemistry. celebrating diversity in science*. Retrieved from <http://www.rsc.org/diversity/175-faces/all-faces/agnes-pockels>
- Meléndez, L., Arroyo, M., Aguilar, R. M., & Soto, I. (2011). El cambio conceptual a través del análisis de las propiedades del agua. *Contactos*, *81*, 45-51.
- Ostwald, W. (1932). Die Arbeiten von Agnes Pockels über Grenzflächen und Filme. *Kolloid-Zeitschrift*, (58)1.
- Phillips, P. (1990). *The Scientific Lady. A Social History of Women's Scientific Interests 1520-1918*. London, UK: Weidenfeld and Nicolson.
- Pockels, A. (1891). Surface tension. *Nature*, *43*, 437-439.
- Pockels, A. (1892). Sobre la contaminación relativa de la superficie del agua por cantidades iguales de sustancias diferentes. *Nature*, *43*, 418-419.
- Pockels, A. (1893) Relaciones entre la tensión superficial y la contaminación relativa de la superficie del agua. *Nature*, *48*, 152-154.
- Pockels, A. (1894). Sobre la Extensión del aceite en el agua. *Nature*, *50*, 223-224.
- Pockels, A. (1898). Observaciones sobre la adhesión de diferentes líquidos en el vidrio. *Naturwissenschaftliche Rundschau*, *13*, 190-191.
- Pockels, A. (1899a). Investigaciones sobre la tensión superficial con la balanza de cohesión. *Annalen der Physik*, *67*, 668-681.
- Pockels, A. (1899b). Ángulos de contacto de las soluciones saturadas en los cristales. *Naturwissenschaftliche Rundschau*, *14*(30), 383.
- Pockels, A. (1902). Sobre la disminución espontánea de la tensión superficial del agua, soluciones acuosas y emulsiones. *Annalen der Physik*, *8*, 854-871.
- Pockels, A. (1909). Das Willkürliche in der Welt. *Annalen der Naturphilosophie*, *8*, 321-328.
- Pockels, A. (1914). Sobre ángulos de contacto y flujo de fluidos en los cuerpos sólidos. *Physikalische Zeitschrift*, *15*, 39-46.
- Pockels, A. (1916a). Sobre la diseminación de líquidos puros y combinados en agua. *Physikalische Zeitschrift*, *17*, 142-145.
- Pockels, A. (1916b). Sobre los cambios de la tensión superficial con el tiempo. *Physikalische Zeitschrift*, *17*, 441-442.
- Pockels, A. (1917). Sobre el estado anómalo de la superficie del agua. *Naturwissenschaftliche Rundschau*, *5*, 137-140, 149-153.
- Pockels, A. (1918). Sobre las pequeñas extensiones de aceite en los lagos. *Naturwissenschaftliche Rundschau*, *6*, 118.
- Pockels, A. (1926). La medición de la tensión superficial con la balanza. *Science*, *64*(1656), 304.
- Pockels, A. (1933). Über die Abhängigkeit der Benetzbarkeit fester Körper von der Berührungsdauer. *Kolloid-Zeitschrift*, *62*(1), 1-2.
- Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las Ciencias en la Educación Secundaria Obligatoria*. Madrid, España: Síntesis.
- Schiebinger, L. (1991). *The Mind has no Sex?* Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Solsona, N. (2012). Marie Curie y algunas categorías de análisis de las biografías científicas. Memorias IX Congreso Iberoamericano Ciencia, Tecnología y Género. Recuperado de <http://www.oei.es/congresoctg/memoria/pdf/SolsonaPairo.pdf>
- Solsona, N. (2014). Las mujeres en la Historia de la ciencia. En M. Quintanilla, S. Daza, & H. C. Cabrera (Eds.), *Historia y filosofía de la ciencia. Aportes para una "nueva aula de ciencias" promotora de ciudadanía y valores* (pp. 155). Santiago, Chile: Editorial Bellaterra.
- Solsona, N. (2015). Análisis de las estrategias de autorización de mujeres científicas en la Ilustración. *Física y Cultura*, (9), 27-42.

- Turpin, M. (1992). Women in Seventeenth Century. En S. Hills (Ed.), *The History and Philosophy of Science in Science Education* (pp. 527-539). Kingston, Ontario: Faculty of Education.
- Williams, G. A. (2001). Agnes Pockels 1862-1935. *Contributions of 20th century womens to physics*
Retrieved from <https://goo.gl/cVYqXH>

CAPÍTULO 7

Análisis histórico de la óptica de Huygens: aportes a la didáctica de la física desde enfoques culturales

Edwin G. García A, PhD
edwingermangarcia@hotmail.com

Martha Y. Cerquera C, Mg.
maryane_c@hotmail.com
Universidad del Valle, Cali, Colombia

Contenido

Resumen

7.1 Introducción

7.2 Orientaciones conceptuales

7.3 ¿Qué son los enfoques socioculturales de la ciencia?

7.4 Recontextualización de saberes

7.5 Análisis histórico-crítico de la óptica: los hechos fundamentales del comportamiento de la luz

7.6 Los textos de enseñanza de la física

7.7 Análisis de los textos sobre óptica

7.8 Elementos orientadores derivados del estudio histórico para la enseñanza de la óptica

7.9 Conclusiones

Referencias

Análisis histórico de la óptica de Huygens: Aportes a la Didáctica de la Física desde enfoques culturales

Resumen

La enseñanza de los fundamentos de la física es una preocupación permanente para la Didáctica de las Ciencias. La filosofía de las ciencias como campo conceptual se ha convertido en una alternativa importante para fortalecer los procesos de formación de maestros, particularmente los enfoques culturales. En este sentido, se recogen aportes de los escritos originales para ser tenidos en cuenta en la enseñanza de la óptica desde la perspectiva sociocultural; esto es, dando importancia a las problemáticas abordadas por los científicos antes que sus productos o leyes. En nuestro caso se hace un análisis histórico crítico de la óptica en torno al comportamiento de propagación y refracción de la luz, las controversias y tensiones presentes en los trabajos de Descartes, Newton y Huygens. Análisis que sirve al docente para establecer relaciones y diferencias con los libros de texto que utiliza e identificar las limitaciones que estos poseen al presentar y explicar los fenómenos ópticos.

7.1 Introducción

Las investigaciones en el campo de la Didáctica de las Ciencias muestran un espacio de reflexión significativo sobre la pertinencia y uso de la historia de las ciencias, que le permite al maestro construir elementos de análisis para establecer relaciones más dinámicas con el conocimiento científico, pues tradicionalmente su radio de acción se ha reducido a transmitir y no a contextualizar los saberes de la ciencias en el ámbito educativo.

El presente trabajo se enmarca en el campo de investigación sobre la Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias; toma como referente de base la ciencia, considerada como un actividad humana y cultural, en la cual se identifican las problemáticas fundamentales, que, según nuestro criterio abordaron los científicos, pero que hoy día lamentablemente los textos de enseñanza invisibilizan. Dichas problemáticas son relevantes, ya que aportaron a la construcción histórica de la óptica como disciplina y pulsaron una nueva concepción sobre la naturaleza de la luz.

El trabajo desarrolla tres momentos de manera articulada, perfilando el primer momento como la base conceptual para los momentos posteriores.

Con relación al primero, se presenta la construcción del análisis histórico crítico en torno al fenómeno de propagación y refracción de la luz. Inicialmente se considera cómo las concepciones sobre la naturaleza de la luz en el siglo XVII, en los trabajos de Descartes y Newton, presentan explicaciones que no coincidían con los nuevos hechos registrados.

Huygens aportaría nuevos elementos contruidos de manera alterna que lo llevan a plantear una concepción de luz como movimiento de materia, lo que posteriormente abre la puerta a la teoría ondulatoria de la luz y por supuesto al electromagnetismo.

En el segundo momento, y a partir del anterior, se realiza un análisis a algunos textos de física de educación secundaria y universitaria respecto a la óptica para identificar las limitaciones de los mismos. Según el análisis histórico crítico se construyen unas categorías o rejillas³⁵ que permiten identificar las dificultades que presentan los libros de texto guía a los maestros al mostrar los productos de la ciencia al margen de los contextos de producción de dicho conocimiento; a su vez, impiden que el maestro de ciencias pueda establecer relaciones más significativas en la construcción e interpretación de los hechos.

Y en el tercer momento, que se deriva de los dos anteriores, se han diseñado algunas orientaciones para maestros que permitan enriquecer y ampliar su mirada en la enseñanza de la óptica.

7.2 Orientaciones conceptuales

El presente trabajo toma como herramientas conceptuales teóricas y metodológicas la perspectiva de los estudios socioculturales y la estrategia de recontextualización de saberes como fundamentos orientadores para el análisis histórico crítico de la óptica.

7.3 ¿Qué son los enfoques socioculturales de la ciencia?

La actividad científica es una de las formas de producción de conocimiento que la humanidad ha construido, con la que busca comprender e intervenir aspectos del universo en que vive. Desde sus inicios hasta nuestros días podemos decir que la ciencia ha brindado grandes y múltiples aportes a la humanidad (García, 2015). La enseñanza y preservación de la ciencia es incuestionable para el hombre moderno. Sin embargo, se hace necesario aclarar a qué nos referimos cuando decimos “ciencia”, pues realmente no existe un consenso al respecto. Las publicaciones y libros científicos muestran diversidad de métodos de investigación, controversias y pugnas por defender puntos de vista y modelos teóricos, realización de experimentos para defender perspectivas, elaboraciones y discursos teóricos que son controvertibles y que históricamente se transforman, pero al final hablamos de la ciencia como si hubiera un acuerdo tácito sobre lo que ella significa. Los enfoques socioculturales buscan poner en evidencia que no existe tal acuerdo tácito y que, por el contrario, la producción de conocimiento científico es gracias a la diversidad de contextos, de formas de pensar y resolver los problemas, de métodos de investigación que se validan e imponen, y la producción de instrumentos, aparatos y artefactos con sentidos específicos, validados por unos y desestimado por otros (García, 2015). Autores como

³⁵Las rejillas o categorías son el resultado de los aspectos relevantes que el análisis histórico construye en relación con las formas explicativas desde la perspectiva de Huygens al dar cuenta del fenómeno de propagación y refracción de la luz.

Fleck (1935), Elkana (1983) y Prigogine (1997) defienden la tesis de que el conocimiento científico no es universal, sino que responde a necesidades y contextos socioculturales que se validan e imponen. Con ello podemos decir que los enfoques culturales surgen y son promovidos al interior de la propia actividad científica. Estas consideraciones son abordadas incluso por los propios científicos o filósofos naturalistas como lo fue para el caso de Descartes (Francia), Newton (Inglaterra) y Huygens (Holanda), al construir diferentes maneras de explicación al fenómeno de propagación y refracción de la luz en cada uno de sus contextos de producción y de validación. Dichas consideraciones son abordadas en detalle en el apartado dos del análisis histórico de la óptica.

Identificadas las anteriores premisas sobre la ciencia, entonces ahora, hablar de enseñar ciencias es atender también a una actividad humana y cultural, esto es, considerar como relevante la perspectiva sociocultural porque le permite al docente identificar las diferentes formas de construcción y validación del conocimiento científico. Los estudios históricos le permiten al docente de ciencias apropiarse una postura crítica en la relación con los procesos de producción y validación de la ciencia, fundamentalmente cuando estos son llevados al contexto de la enseñanza. Este ejercicio de ir del contexto de producción, que tiene como herramienta el análisis histórico, al contexto de la enseñanza es lo que fundamenta la recontextualización que hace el docente en el aula.

7.4 Recontextualización de saberes

El término de recontextualización es tomado de Basil Bernstein, pero bajo apropiaciones particulares para este trabajo. Cuando Bernstein pone como ejemplo la adquisición de la física tradicional en la escuela secundaria, la muestra como un discurso recontextualizado. Su perspectiva indica que este proceso “es el resultado de principios de recontextualización que la han seleccionado y desubicado de lo que podríamos llamar el campo primario de la producción del discurso y reubicado y reenfocado en el campo secundario de la reproducción del discurso” (Bernstein, 1993, p. 128). Sin embargo, el ejemplo planteado por Bernstein³⁶ conlleva a establecer procesos de demarcación y dualismos, entre el contexto de producción del conocimiento y el contexto de reproducción (enseñanza), dejando finalmente al maestro de física en un plano subordinado y de reproductor con relación al conocimiento científico. (Cerquera, 2006, p.45).

Por el contrario, el proceso de recontextualización del presente trabajo hace un giro significativo en la medida que permite al maestro, como sujeto activo, dignificar su labor en la posibilidad de construir interpretaciones que aboguen por la construcción de nuevos significados y relaciones en los procesos de enseñanza. Significados y relaciones que favorezcan la comprensión de la multiplicidad de tareas complejas involucradas a la hora

³⁶ La adquisición de la física en la escuela desde la mirada de Bernstein está permeada por una regulación moral de las relaciones sociales de transmisión/adquisición donde la interacción con lo otro (conocimiento científico) y el otro (el maestro y quien aprende) no juega un papel relevante.

de la enseñanza, entre ellas con carácter relevante, la de afectar procesos epistemológicos en el maestro a través de diálogos con las obras clásicas de los científicos, en donde paralelamente se conforman problemas, se configuran fenómenos desde sus propias preocupaciones, y, con base en lo anterior, se generan condiciones para que los maestros se involucren en la actividad de estructurar, organizar y construir explicaciones a los fenómenos (García, 2002).

En el campo de la historia de las ciencias y enseñanza de las ciencias algunos trabajos de investigación se han ocupado de dicha relación. Para el caso de la óptica ha sido más desde una historia evolutiva de los conceptos, sin lograr articular la mirada activa del maestro en el uso de la historia de la ciencia en la enseñanza. Con relación a este último aspecto el presente trabajo toma distancia, ya que busca por parte del maestro de física la comprensión de los fenómenos ópticos que puede construir desde esta dinámica de recontextualización al construir para él una imagen en torno al fenómeno estudiado, que responde a criterios de organización individual (no impuestos por el texto escolar) para que pueda confrontarlo y vincularlo con su entorno. Esta situación le permitirá al profesor cuestionar su propio conocimiento y, por ende, su enseñanza. Ahí radica la diferencia y pertinencia del presente trabajo; el ejercicio de recontextualización se ve materializado en los apartados que siguen.

7.5 Análisis histórico-crítico de la óptica: los hechos fundamentales del comportamiento de la luz

Los trabajos sobre óptica en la Edad Media se centraron en el estudio de las lentes principalmente, pues ya el telescopio con Galileo había alcanzado un estatus de instrumento de observación astronómica, sin embargo las dificultades de aberración de las lentes eran considerables. Los fenómenos de reflexión y refracción de la luz eran conocidos y estudiados desde los griegos, pero no se había formalizado una teoría coherente sobre su naturaleza, Uno de los fenómenos más estudiados sobre la luz eran los eclipses, tanto de Sol como de Luna. Descartes es el primero en presentar sistemáticamente sus observaciones sobre la naturaleza de la luz al observar los eclipses. Consideraba que en un eclipse total de Sol la luz que nosotros percibimos es interrumpida por la Luna, pero tan pronto la Luna deja de obstaculizar, entonces la propagación de la luz es instantánea. La luz se mueve en forma instantánea hasta nuestros ojos. Para Descartes el mundo estaba compuesto por una materia única y uniforme que lo llena todo (visión continua), desprovista de cualidades esenciales peripatéticas. Como consecuencia de ello, plantea que la luz no es más que un cierto tipo de presión, o tendencia al movimiento, transmitido a través de un medio fluido, es decir, concibe la luz a través de una acción que se hace sobre la materia que se encuentra expandida por todas partes y cuya propagación es instantánea. Asume la acción de la luz análoga a la sensación que percibe un ciego cuando con su bastón toca una piedra. La acción se transmite de forma

instantánea entre la piedra y la persona a través del bastón, pero sin intervención de este. En otras palabras, Descartes concibe la luz como una acción, una tendencia al movimiento que precisa de un medio material para propagarse, y donde no se supone transporte de materia.

Por su parte Newton posee una visión discreta de la materia que lo lleva a concebir el mundo como lleno de partículas que se transportan de un lugar a otro, situación que lo hace asumir la luz como corpúsculos luminosos que tienen existencia y movimiento (puntos materiales), y por lo tanto se mueven en el espacio en línea recta; esto implica que la luz posee materialidad y viaja a velocidad elevada pero finita. En este sentido, Newton, en coherencia con su lógica mecanicista, le asigna a la luz la propiedad de transportar materia, hecho notable que vale la pena rescatar, debido a que lo lleva a planteamientos contrarios en la teoría ondulatoria de la luz, principalmente porque no veía cómo con ella se podría explicar la propagación rectilínea de los rayos luminosos. Para Newton hay algo que se desplaza de un lado a otro, es decir, plantea el transporte de materia.

Contrario a Descartes y Newton, Huygens expresa su inconformismo con relación a la velocidad instantánea de la luz, y al movimiento rectilíneo de la misma, objetaba a Newton planteando el siguiente interrogante:

Quando se considera la enorme velocidad con que la luz se propaga por todas partes y que cuando vienen de distintos puntos aunque sean totalmente opuestos, los rayos se atraviesan unos a otros sin obstaculizarse se comprende bien que cuando vemos un objeto luminoso, esto no podría verificarse por el transporte de una materia que viniera del objeto hasta nosotros, como una bala o una flecha que atraviesa el aire, pues seguramente esto repugna demasiado a estas dos cualidades de la luz, entonces ¿Cómo es posible que rayos de luz que vienen en diferentes direcciones estos se crucen sin obstaculizarse unos a otros siendo que la luz es un movimiento de materia? (citado en Cortés Pla, 1945, p. 39).

A Huygens le es difícil asumir la manera de propagarse la luz desde el modelo mecanicista planteado por Newton, pues si la luz es materia que se propaga entonces, ¿cómo es posible que los corpúsculos no choquen unos con otros desviándose o anulándose? La riqueza de la pregunta de Huygens radica en atreverse a reflexionar y volver hacia el fenómeno de propagación de la luz a partir de otras explicaciones y formas de organizarlo, otorgando a la ciencia el carácter relativo e hipotético de las teorías científicas.

Es necesario resaltar que dicho cuestionamiento muestra una posición contraria a la mecánica newtoniana, cuando esta es aplicada o llevada al campo de la óptica. En esta dirección, Huygens explicita que un objeto luminoso este no podría verificarse por el transporte de materia pues sería contradictorio con relación a la característica de propagación de la luz. Sin embargo, Huygens si comparte con Newton y cuestiona a Descartes, que la luz posee una velocidad finita, pero no debido al desplazamiento de corpúsculos, sino a un movimiento diferente que se propaga entre las partículas de la materia, esto es, una onda mecánica.

Se aprecia cómo Huygens, siendo mecanicista, no asume el movimiento de materia como transporte de esta, sino como una propagación que se presenta en ella. Es decir, comparte el movimiento de propagación de Descartes, pero no su carácter instantáneo y comparte la velocidad finita de la luz de Newton, pero no el transporte de materia que este sugiere. En buena medida esto lo lleva a considerar la existencia de otra manera de propagación de la luz. De acuerdo con este espíritu Huygens afirma: “No puede haber duda de que la luz llega desde el cuerpo luminoso hasta nosotros, por algún movimiento impreso a la materia que se encuentra entre los dos, puesto que ya hemos visto que no puede serlo debido al transporte de un cuerpo que pase del uno al otro” (1945, p. 39).

Dicho esto, la propagación de la luz ha de concebirse de manera diferente, pero ¿de qué manera? Huygens no se preguntaba por qué, o a causa de qué, la fuente luminosa produce un movimiento de materia en sí, lo que le interesa es construir una nueva explicación que diera sentido a la propagación de la luz.

En la búsqueda de explicaciones llega a considerar diferentes factores, entre ellos, el relevante aporte dado por el astrónomo Roemer, quien logra incidir fuertemente en sus planteamientos. Roemer muestra a través del eclipse de una de las lunas del planeta Júpiter, que la luz tarda cierto tiempo en llegar desde dicha luna hasta un observador en la Tierra, pero que este tiempo es diferente cuando se presenta un nuevo eclipse. Contrario a lo que establecía Descartes que la acción era instantánea. Establece que la luz del eclipse debe recorrer una distancia adicional para llegar a la Tierra, cuando esta está detrás del Sol, que cuando está delante del mismo, pues estaría más cerca del planeta en el segundo caso. Por lo tanto, existe una relación entre el tiempo del recorrido y dicha distancia adicional, la que solo es posible si se considera la rapidez con la que se propaga la luz en el espacio. La experiencia de Roemer resultó significativa en los cuestionamientos posteriores de Huygens, pues, apoyado en la experiencia de estos eclipses de luna, logra tomar distancia del carácter instantáneo de la luz, visión típica de la mecánica planteada por Descartes. Es de notar que la intención inicial de Roemer es demostrar que la luz tarda

un tiempo para propagarse y no la medida de su velocidad, pero, posteriormente y convencido de ello, propone un método para medir dicha velocidad de la luz³⁷. La observación de Roemer le permite a Huygens considerar que la luz requiere un cierto tiempo de propagación, por lo tanto, que no es instantánea, sino que gasta un tiempo para propagarse con velocidad finita. Es de recordar que Huygens fue una de las pocas personas en considerar válido el razonamiento de Roemer, apartándose del pensamiento cartesiano.

La problemática anterior lleva a Huygens a preguntarse de acuerdo con nuestro análisis histórico: ¿De qué factores depende que la luz tarde un tiempo en propagarse? Pregunta que seguramente involucra la intervención del medio, el cual es relevante en la propagación. Su visión sigue siendo mecanicista, y mantiene la materia y el espacio como ontológicos, pero considera el medio como una distribución de la materia y a esta con propiedades fundamentales de elasticidad y rigidez. En medios diferentes la luz se debe propagar con velocidades diferentes, la velocidad de propagación cambia dependiendo de las propiedades del medio, y el tiempo de propagación es determinado por la acción del medio. Sin lugar a dudas, Huygens vio partículas que interactúan conjuntamente, donde Newton y otros vieron centros de fuerza de atracción a distancia; en otras palabras, Huygens vio un medio activo donde ellos no vieron más que distancia. El carácter activo del medio es el elemento relevante o categoría de análisis que se recoge del análisis histórico para potenciar más adelante el análisis a los textos de enseñanza como las mismas orientaciones pedagógicas propuestas a los maestros de ciencias.

Es importante anotar que Huygens es el primero en considerar como principio vital la actividad del medio para el caso de la luz. Las experiencias de propagación conocidas hasta el momento eran explicadas desde el pensamiento de Descartes como acción instantánea de la luz, en el cual el medio no interviene, y desde el pensamiento de Newton, como el movimiento de corpúsculos a través del medio, donde este hace resistencia al movimiento del corpúsculo, pero su acción es dada como respuesta y no como un principio vital.

Huygens propone en la actividad del medio que el movimiento sucesivo de materia para el caso de la luz se presenta en la interacción de una partícula con otra, donde hay una inclinación al movimiento, pero no desplazamiento de estas, y cuya acción se propaga a

³⁷Es de anotar que curiosamente y por contraste, los libros de texto suelen presentar el tema medida de la velocidad de la luz registrado por Roemer, al margen del problema en el que esta se hizo necesaria.

través de ellas, lo cual requiere cierto tiempo y va a depender de las propiedades de elasticidad y rigidez de las partículas que conforman el medio en cuestión.

Huygens debe construir argumentos teóricos y experimentales para dar cuenta de este medio tan especial, en este sentido acepta el éter como un medio que sirva de soporte a la propagación de la luz, pues no puede ser el aire el medio de soporte de las ondas, ya que este es el medio de propagación del sonido, como lo habían evidenciado los experimentos de Robert Boyle, quien había mostrado que en el vacío no se puede propagar el sonido. Por otra parte el propio Boyle y Torricelli habían mostrado que la luz se propagaba sin dificultad alguna a través de un espacio en el cual se había hecho el vacío³⁸. Las experiencias de Boyle y Torricelli vienen a reafirmar en Huygens que existe un medio particular capaz de propagar la luz. Para ello Huygens construye las explicaciones y modelos³⁹ que caracterizan el medio, llegando a mostrar la propagación de la luz como movimiento sucesivo con el ánimo de construir las condiciones más favorables en su propagación. En este contexto se pregunta: ¿cómo entender que el movimiento sucesivo de la luz se propague siempre hacia delante? Aspecto que ayuda a Huygens a construir el concepto de frente de onda.

La concepción de frente de onda se convierte en un principio fundamental para explicar las razones del fenómeno de refracción en Huygens, situación que lo lleva a analizar dos aspectos importantes: lo que tiene que ver con caracterizar el comportamiento del frente de onda cuando cambia de medio, y lo relacionado con poder identificar la propiedad que poseen los medios con respecto a su velocidad cuando estos interactúan; medio-éter y cuerpo transparente⁴⁰. Con relación a este último aspecto, encontramos cómo la

³⁸Un caso especial se presenta cuando el medio de propagación es el vacío. Si en el vacío no existe materia, según el mecanicismo, ¿cómo puede propagarse la luz? Huygens tuvo que considerar esta crítica de su contemporáneos, particularmente la escuela newtoniana. Para ello tuvo la necesidad de introducir el éter como un medio especial en el cual la luz se propaga. Esta postura presentó muchas dificultades. Fue solo hasta finales del siglo XIX que se superaron con las experiencias de Michelson y Morley que demostraron la inexistencia del éter, pero el concepto de onda construido por Huygens ya se había llevado al plano de no requerir medio de propagación tal como lo evidenciaron los planteamientos de Maxwell y las demostraciones de Hertz.

³⁹No es de olvidar que Huygens estaba influenciado por las ideas mecanicistas de su época y trata de realizar sus interpretaciones desde el estudio del movimiento de los cuerpos duros, pero ajustándolas a sus intereses en el análisis de la propagación de la luz. Para ver en detalle los modelos explicativos construidos por Huygens revisar el capítulo I de su tratado de óptica, 1945.

⁴⁰Huygens había explicitado el problema de la poca densidad de los cuerpos transparentes y de cómo las partículas de los cuerpos poseen menor elasticidad que las del éter, trayendo como consecuencia que la velocidad de propagación de las ondas de luz sea menor. Actualmente, un problema interesante en la refracción de la luz es el concepto de densidad que se maneja, pues no se debe confundir con densidad física $D = m/v$, ya que cuando se va al plano de la óptica se habla de la capacidad del medio para desviar la luz con relación a la normal y también como la facilidad que posee el medio para el paso de la luz. Newton

concepción del éter como medio de propagación y la incidencia de los principios mecanicistas sostienen que en medios distintos hay velocidades diferentes, pero ¿qué sucede cuando esta concepción es llevada al plano de la luz? En otras palabras, ¿cuál ha de ser su comportamiento cuando se encuentra en medios diferentes? En consecuencia, si para Huygens, la luz posee una velocidad finita en un medio homogéneo y gasta cierto tiempo en propagarse, entonces, ¿cuál será el comportamiento de su velocidad cuando esta pasa a un medio distinto? Huygens había analizado el problema de la propagación de la luz, pero ahora estará acompañado por la presencia del cambio de medio. Lo anterior, a nuestra manera de ver, lleva a Huygens a plantear también el problema de la refracción de la luz bajo la preocupación del cambio de medio y posteriormente dar un nuevo significado y sentido a la Ley de Snell.

Estos interrogantes son objeto de reflexión en la búsqueda de poder rastrear en Huygens cómo llega a construir una nueva forma de concebir el fenómeno de refracción de la luz bajo el problema del cambio de medio y su variación de la velocidad. En la mayoría de los textos escolares los aspectos antes mencionados no son de interés en su estructuración; sin embargo, son fundamentales para la comprensión del porqué de las diferentes connotaciones dadas a las leyes, teorías y principios en el conocimiento científico y que a la hora de ser enseñados deben ser presentados coherentemente en la dinámica desarrollada al interior del mismo.

7.6 Los textos de enseñanza de la física

La mayoría de los textos de enseñanza utilizan una retórica que incide en la imagen de ciencia que adquieren los maestros, imagen que les impide acceder a una comprensión significativa de los fenómenos estudiados. Muchos de estos libros están orientados por una concepción de ciencia como producto acabado, donde la verdad es objetiva e incuestionable, las leyes de la naturaleza existen independientes de quienes las producen y los experimentos son esencialmente demostrativos de las verdades teóricas. En este sentido Greca & Moreira consideran que:

En los libros de texto es posible observar que las teorías aparecen como estructuras acabadas, presentando los fenómenos y leyes y sus expresiones matemáticas de acuerdo con rigurosos criterios lógico deductivos. Presentar ... una serie de postulados y a partir de ahí “inferir” la teoría –como si fuese una rama de las matemáticas– no significa que se comprendan los fenómenos que esa teoría explica (1998).

denominó a este aspecto refrangibilidad, término que permite diferenciarse significativamente con el de densidad física y que apropiaremos en el presente trabajo. Los aspectos mencionados no son aclarados en los libros de texto generando confusión en los conceptos.

Los textos utilizados en los cursos fundamentales de física son un referente de lo que se suele enseñar. Tanto la forma como los contenidos presentes en los textos de física son un indicio de la enseñanza que se quiere promover, como de su estructura organizativa. ¿De qué depende la selección de los contenidos? ¿Con qué criterios o fundamentos de base se presentan las secuencias temáticas a los maestros?

Izquierdo (2005) considera que los textos transmiten una intención comunicativa o retórica del autor; esto es, una imagen o concepción de la ciencia, una didáctica o forma de presentar los contenidos, y un nivel de desarrollo y profundidad de los conceptos. Avanzando hacia el primer decenio del siglo XXI nos preguntamos si la retórica de los textos utilizados usualmente a nivel introductorio en la universidad reconoce o tiene en cuenta los aportes en la enseñanza de las ciencias en los últimos 30 años. ¿Los textos reconocen los aportes de la historia y la filosofía de las ciencias? ¿Consideran el proceso de construcción del conocimiento más que sus resultados? En este artículo se pone en evidencia que no.

Al revisar en el contexto histórico el papel de los libros de texto encontramos cómo la intención ha ido cambiando con el tiempo. Según Bachelard (1948) anteriormente los libros de texto hablaban de la naturaleza, de la vida cotidiana y en un lenguaje de fácil acceso para el lector. Pareciera que hoy en día eso ha cambiado, pues dice Bachelard que los textos se han vuelto autosuficientes, ellos hacen las preguntas y ellos mismos las responden, presentan la ciencia como algo organizado y elevado, por encima de los conocimientos e intereses del lector.

Las investigaciones actuales en didáctica de las ciencias naturales han orientado esfuerzos hacia el estudio de los libros de texto (Alambique, 2001), llegando a la búsqueda de las intenciones que hay detrás por parte de los autores o de las editoriales (incluso de los ministerios de educación) y el mensaje que quieren transmitir a través del texto, esto es la retórica. Es claro que en los libros de texto hay estructuras retóricas cuya intención es la de persuadir al lector, influir en su forma de pensar la ciencia y en transformar su mundo, esto es, utilizan un lenguaje y unas estrategias para persuadir de maneras diferentes (Izquierdo, 2005).

Cuando se enseña óptica el libro de texto lo hace de una forma tal que busca convencer al lector de que piense la ciencia y la actividad científica de una cierta manera, la que el autor crea más pertinente. Identificar la intención comunicativa de los libros de texto en términos de sus alcances y limitaciones en la explicación de los fenómenos ópticos es una alternativa favorable para el maestro de ciencias al establecer su relación con los textos

de enseñanza. Y en este sentido, la herramienta del análisis histórico y los procesos de recontextualización empoderan al maestro de ciencias en relación con el uso del texto de enseñanza.

7.7 Análisis de los textos sobre óptica

Respecto al análisis elaborado a los textos de enseñanza⁴¹ se evidencian las limitaciones que se presentan tanto en la organización dada a los contenidos para la comprensión de los fenómenos ópticos como de sus elaboraciones conceptuales. Este aspecto es coincidente en otras latitudes y coordenadas con los trabajos de Araújo & Orlando da Silva (2009) al exponer que si se compara la teoría presentada por Christian Huygens en el *Tratado sobre la Luz* en el siglo XVII con la versión que aparece en algunos libros didácticos de física para cursos superiores, vemos cómo estos incorporan contribuciones posteriores que conducen a una visión errónea⁴² de la evolución de esta teoría al atribuir al pasado concepciones actuales.

El análisis histórico construido permitió la elaboración de cinco rejillas de carácter inductivo, tomando como eje central el papel activo del medio desde la perspectiva de Huygens. Entre ellas encontramos: yuxtaposición de imágenes; limitaciones de la óptica geométrica; experiencias acomodadas al modelo teórico; óptica desvinculada de la

⁴¹Los textos analizados corresponden a aquellos que son usados con mayor frecuencia en los colegios de secundaria y primeros semestres de universidad en Colombia, particularmente en las carreras de ingeniería y de las licenciaturas. Estos libros de cursos universitarios también sirven de fuente de referencia para los profesores en la enseñanza media. Al realizar una encuesta a los maestros de secundaria y primer semestre de universidad los textos que resultaron seleccionados fueron: Zitzewitz, P. W. & Neff, R. F. (2000). *Física 2 Principios y Problemas* (trad. J. Caro & M. García). Colombia: Ed. Mc Graw Hill; Valero, M. (2001). *Física Fundamental 2*. Colombia: Ed. Norma; Rincón, M. B. (2002). *Física II*. Colombia: Ed. Santillana; Alvarenga, M. (1983). *Física General*. México: Ed. Harla; Serway, R. & Beichner, R. (2002). *Física para ciencias e ingeniería*. México; y Holliday, D. & Resnick, R. (1999). *Física* (parte II). México.

⁴²La contribución de Christian Huygens debe entenderse en el contexto de su época (SILVA, 2007). El desarrollo de la teoría física de la luz durante el siglo XVII se asocia con la construcción de modelos mecánicos, que trató de explicar a través de conceptos puramente mecánicos para las propiedades conocidas de la luz, tales como la propagación lineal, la reflexión, la refracción y origen de colores. Esta búsqueda de modelos mecánicos es fácilmente comprensible, al igual que la mejor ciencia de su tiempo. Después de todo, el siglo XVII vivió la publicación de importantes obras de Galileo (1564-1642), Descartes (1596-1650), Pascal (1623-1662), Hooke (1635-1703), Kepler (1571-1630), Boyle (1627 -1691) y Newton (1642-1727), solo por mencionar los más conocidos. El mismo Huygens enuncia en 1656-7, una teoría de las colisiones elásticas y, en 1669, participó en un concurso realizado por la Royal Society sobre las leyes del movimiento, con un texto latino, publicado el mismo año, en francés, en el *Journal des sçavans* (sic) sobre las leyes movimiento en las colisiones. El *Tratado de la Luz* fue presentado por Huygens en 1678 a la Real Academia de Ciencias de Francia en París, y publicado en 1690 en Leiden, acompañado de un discurso sobre la causa de la gravedad (Huygens, 1937) (Araújo & Orlando da Silva, 2009, p. 325). No hay duda que al leer su tratado la mirada mecanicista de Huygens fue el referente con el cual construyó la explicación de la propagación de la luz, pero no debido al desplazamiento de la materia sino debido a un movimiento diferente que se propaga entre las partículas de la materia y para ello le dio un papel relevante al medio. Huygens vio más allá.

astronomía; y leyes y teorías que guían la observación y la experimentación. (Cerquera, 2006, p. 93) Por cuestiones de espacio en este artículo examinaremos en detalle solo una de estas categorías, las limitaciones de la óptica geométrica.

Limitaciones de la óptica geométrica

Una de las limitaciones encontradas a la óptica geométrica es que pasa a convertir el medio –sea esta una lente convergente o divergente– solo en una línea vertical. Tal situación conduce a una construcción geométrica que invisibiliza el medio, desviando así la mirada de la importancia física que juega allí la presencia del medio.

Las lentes (medios) en los textos suelen representarse en la forma indicada en la figura 1, minimizando el papel activo que ocupa el medio y centrando solo la atención en el comportamiento del conjunto de rayos paralelos al eje de la lente para dar cuenta del foco y la distancia focal.

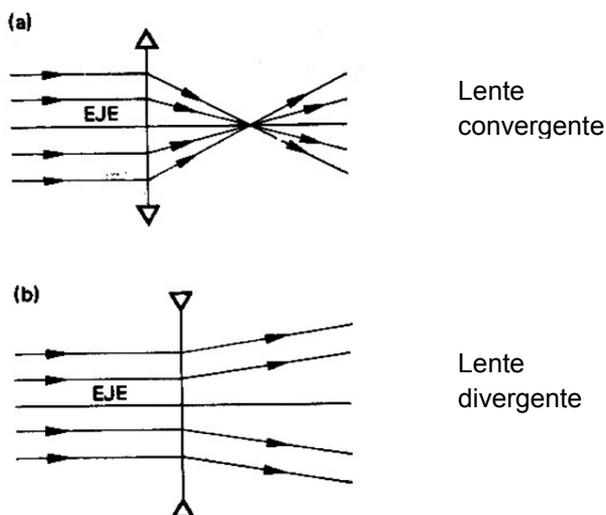


Figura 1. Lentes convergentes y divergentes en la óptica geométrica. Tomado de *Física General* de Alvarenga (1981, p. 546).

En esta dirección el texto *Física General* (Alvarenga, 1981) expresa: “En nuestro estudio analizaremos únicamente lentes de pequeño espesor, es decir lentes finas o delgadas. Por este motivo, para simplificar el trazo de los diagramas no se indicará la trayectoria real de los rayos luminosos en el interior de la lente; solo se dibujarán dichos rayos sustituyendo las dos refracciones producidas por la lente, por una desviación única en su interior” (p. 546). Dicho aspecto deja de lado la posibilidad de construir diferentes explicaciones del fenómeno al no preguntarse por las características del medio ni por las condiciones de factores externos. La idea de rayo expresada en el texto se corresponde con el pensamiento newtoniano, una partícula se desplaza en línea recta siguiendo una dirección que, posteriormente, es desviada por la presencia de la lente. Este tratamiento del texto anula el papel activo del medio (lente), dando importancia solamente a la dirección del

rayo, lo que implica una dificultad para comprender posteriormente el fenómeno de la refracción y el rol que ocupa el medio.

No obstante, “Pesa ha mostrado también que los profesores tienen graves dificultades para interpretar fenómenos elementales que solo involucran la marcha rectilínea de la luz, y ha destacado la necesidad, entre otras cosas, de una metodología de enseñanza que contemple procesos más activos, con incorporación de tratamientos cualitativos que propicien la reflexión sobre los significados” (Pesa, 1999, p. 14).

Es claro que “los docentes no están acostumbrados a encarar situaciones elaborando las explicaciones sobre la base de dibujos de rayos... Los temas de óptica son desperdiciados en sus potencialidades para desarrollar razonamientos que permitan relacionar los conceptos estudiados con situaciones de la vida diaria. Este tipo de enseñanza produce serios daños: tanto una visión totalmente errónea de lo que es el pensamiento científico, como la afirmación de procedimientos y actitudes viciosos denunciados hace ya mucho como parte de una metodología de la superficialidad (Carrascosa & Gil, 1985)” (Iparraguirre, 2007, p. 426).

De otro lado, el texto de Alvarenga intenta poner en juego el medio, pero solo lo deja entrever como la distancia focal de una lente que depende del medio en el cual este sumergida. Al respecto expone:

Si colocamos una lente de vidrio en un medio cuyo índice de refracción es mayor que el aire y menor que el vidrio, como, por ejemplo, el agua se encontrarán distancias focales cada vez mayores, sin embargo cuando la lente de vidrio es colocada en glicerina se encuentra que allí no hay ningún tipo de cambio, pues en estas condiciones la luz no se refracta al atravesar el vidrio, parece entonces que estuvieran propagándose en un mismo medio; podemos decir que si ambos medios tienen aproximadamente el mismo índice de refracción se encontrarán en medios iguales y en consecuencia la distancia focal de la lente se vuelve infinitamente grande (Alvarenga, 1981, p. 547).

Lo descrito anteriormente nos confirma el hecho de que el medio sí cuenta y juega un papel relevante en el fenómeno de la propagación de la luz y, por tanto, no se hace pertinente minimizarlo a una línea vertical, ya que desvirtúa el sentido y significado que cumple el mismo. Sin embargo, los ejemplos dados por el texto apuntan a mostrar que el medio cuenta solo en términos cuantitativos y geométricos con relación al índice de refracción y la ubicación de la distancia focal.

En esta misma dirección, el libro de Física fundamental 2 de Valero expone: “estudiaremos solamente las lentes delgadas limitadas por superficies esféricas y cuyo espesor es despreciable comparado con las dimensiones de los radios de curvaturas y de las

distancias del objeto a la lente” (Valero, 2001, p. 113). Más adelante agrega: “Este sistema óptico es una lente convergente. Estas lentes son de centro más espeso que los bordes; entre estas se distinguen las lentes biconvexas, plano-convexas y menisco-convergentes que esquematizaremos por un segmento de recta con extremos en forma de flecha debido a que el espesor de la lente es despreciable” (Valero, 2001, p. 115). Tal aspecto es problemático, ya que la lente es un medio material transparente que afecta la propagación de la luz en su dirección y de ahí la riqueza de poder converger o divergir los rayos de luz, por contraste la luz, al incidir en la lente, no experimentaría ninguna desviación. ¿Cómo poder entonces dar cuenta de las imágenes que forman las lentes? A su vez, ¿cómo poder explicar que cuando un rayo incide por el centro de la lente no cambia su dirección, si la luz experimenta un cambio de medio?

7.8 Elementos orientadores derivados del estudio histórico para la enseñanza de la óptica

La manera como se imparte la enseñanza de las ciencias y en general cualquier tipo de conocimiento se fundamenta en una recontextualización de los saberes, esto es situar, insertar un conocimiento de manera significativa en un nuevo contexto, diferente de aquel en el que se originó. Se diferencia de la transposición didáctica en tanto que no se reconoce un saber sabio que deba ser enseñado, sino que el saber es una construcción social que se modifica y transforma continuamente, incluyendo el saber científico. Es precisamente la interpretación que hacemos de la óptica de Huygens en un proceso de recontextualización que recupera elementos valiosos, como el papel que juega el medio o “medio activo”, como insumos importantes que direccionan los elementos orientadores propuestos para el presente trabajo, y que no suelen ser reconocidos ya sea por historiadores o por divulgadores de la ciencia como son los libros de texto.

Nosotros consideramos con Granes & Caicedo (1997) junto con Ayala et al. (2004), la recontextualización como la modificación o transformación inevitable que deben sufrir los conocimientos desde las comunidades científicas que los producen hasta los nuevos contextos culturales que los apropian; modificaciones sufridas de acuerdo con las necesidades de la comunidad particular que ha de construir significados en torno a ellos. Se parte, así, de un conocimiento objeto de debate, tensión y controversia propio de las comunidades científicas, el cual es apropiado por el docente, según con sus propias preocupaciones.

Se asume, pues, la recontextualización como una actividad que genera las condiciones para que los maestros se involucren en la actividad de organizar los fenómenos. Es precisamente en esa actividad que se proponen los elementos orientadores en el apartado que sigue, en donde paralelamente se conforman preguntas-problemas y se configuran fenómenos que cobren sentido y significado a quien enseña. En este sentido expone Ayala:

la recontextualización de saberes no supone o implica una actividad solipsista; implica eso sí una nueva relación con el conocimiento, con los “productos científicos” y los planteamientos de los científicos y con la información en general, en la medida en que posibilita establecer un diálogo con los autores analizados, buscando avanzar en la elaboración de una estructuración particular de toda la clase de fenómenos abordados (2004, p.79).

Desde este enfoque, la construcción de significados en torno a las obras de los científicos como Huygens pasa por la elaboración de preguntas y problemas que el docente puede plantear, también ayuda en la oportunidad de organización de los fenómenos a enseñar. Los elementos orientadores para maestros son un ejercicio más de recontextualización de saberes que busca posibilitar en el maestro un tipo de organización del fenómeno de refracción, sea este el caso, que dé cuenta del papel que juega el medio y no solamente el ver sus efectos cuando la luz se quiebra. Ambas situaciones fueron el objeto continuo de preocupación en Huygens, y por ello en la construcción de los elementos orientadores tales aspectos adquieren un significado particular para la enseñanza de los fenómenos ópticos.

Los libros de texto no plantean esta situación y enfatizan el cambio de dirección de la luz para dar cuenta de la refracción, mientras que el rol dado al medio solo aparece para dar cuenta del cambio de velocidad y de los datos establecidos en las tablas de índices de refracción como un valor numérico, dejando de lado la posibilidad de pensar en un papel activo del mismo.

En el análisis histórico se encontró cómo de la interpretación hecha a las diferentes fuentes históricas surgieron ciertos elementos conceptuales que se convirtieron en objeto de reflexión para las actividades orientadoras para maestros, entre ellos se pueden mencionar:

- El papel relevante que Huygens otorga al medio: ¿de qué factores depende que la luz tarde un tiempo en propagarse?
- El comportamiento de la luz cuando cambia de medio: ¿cuál ha de ser su comportamiento cuando se propaga en medios diferentes de carácter transparente? ¿Cómo el medio cuenta en las características de comportamiento de la luz? ¿Cómo el medio tiene mucho que ver con que la luz no se presente ella en si misma? En otras palabras, el medio permite captar que la luz no es un ente independiente, como anteriores filósofos naturalistas pudieron concebirlo, sino que su comportamiento físico está íntimamente ligado al medio en el cual se manifiesta.
- El problema de la velocidad finita de la luz: si la luz posee una velocidad finita,

¿cuál será el comportamiento de su velocidad cuando esta pasa a un medio distinto? La variación de velocidad cobra sentido en Huygens, ya que para él la luz no es instantánea, sino posee una velocidad finita. ¿Cómo la razón de sus velocidades nos da cuenta también de la refrangibilidad del medio (n)?

Los anteriores interrogantes sugieren para el campo de la enseñanza una serie de actividades encaminadas a pensar el papel activo del medio en el proceso de organización del fenómeno de propagación y refracción de la luz. Para ello, se construyeron núcleos de actividades que permiten explorar el fenómeno de refracción en varios aspectos y con los cuales se busca proveer la comprensión significativa del mismo en los procesos de enseñanza. Los núcleos propuestos son: sobre el papel que juega el medio y sus características, y del sentido del cambio de velocidad y las características del medio. Para dar cuenta de los núcleos desarrollaremos en parte solo el primero.

Sobre el papel que juega el medio y sus características

Hasta el momento el papel activo que juega el medio en el fenómeno de la refracción de la luz ha posibilitado ver viejos problemas con nuevos ojos y de esta forma identificar lo que trastocan los textos escolares; estos últimos, al dar cuenta de la relación con el medio, reducen su significado a presentar tablas de índices de refracción que no dan cuenta de la propiedad física del medio o de poder caracterizar el mismo: lo único que nos indican es un valor o dato cuantitativo sin unidades de medida.

Por contraste, el papel activo que juega el medio se convierte en el punto de partida a lo largo de este núcleo de actividades, el cual integra otros elementos a tener en cuenta para el fenómeno de refracción de la luz, pues no solamente el ángulo del rayo incidente y el refractado nos dan cuenta del fenómeno de la propagación y refracción. En efecto, existen otros factores que también intervienen: las formas de los medios transparentes curva, esférica y plana; la estructura (estados) y composición (sustancia) del medio, la densidad óptica y la temperatura.

De acuerdo con lo anterior, este núcleo de actividades está organizado en torno a cinco aspectos que se complementan: 1) de cuando el rayo de luz incide perpendicularmente a la superficie del medio y coincide con la línea normal; 2) de cómo el medio cuenta en las características de comportamiento de la luz: el caso en que uno de los medios considerados es el aire; 3) sobre la refrangibilidad del medio para establecer la diferenciación entre la densidad física y la densidad óptica; 4) de cómo el medio tiene mucho que ver con que la luz no se presente ella en sí misma: la variable temperatura en el medio; 5) la cuantificación de la refrangibilidad de los medios: la ley de Snell.

Para ilustrar el desarrollo de las actividades propuestas se despliega el primer inciso: de cuando el rayo de luz incide perpendicularmente a la superficie del medio y coincide con la línea normal, como una muestra del proceso construido en cada núcleo. Usualmente encontramos que el fenómeno de refracción se reconoce más por el cambio de dirección

que experimenta la luz al pasar a un medio distinto. Sin embargo, encontramos situaciones (hechos) que desbordan dicho aspecto y que no dejan de ser relevantes en la construcción u organización de este fenómeno óptico, pues no debemos reducir la refracción al cambio de dirección por ser la característica evidente a nuestros sentidos.

En este ámbito es válido preguntar: ¿cómo se comporta la luz cuando es dirigida perpendicularmente contra la superficie del agua o cualquier otro medio?, para este caso ¿se podría establecer si hay o no refracción? Este tipo de preguntas abren la posibilidad de realizar experiencias de exploración del comportamiento de la luz en diferentes medios cuando coincide con la normal en superficies planas.

Por ejemplo, se puede sugerir que se observe este hecho cuando se tienen medios sólidos, líquidos y gelatinosos en cubetas de formas diferentes: plano-esféricas, circulares y de caras paralelas. Este procedimiento se realizará tomando diferentes ángulos de incidencia hasta lograr coincidir con la normal. Para cada uno de los casos contemplados en la actividad se debe hacer incidir el haz de luz en diferentes puntos de la superficie de separación, identificando las diferentes líneas normales que pueden aparecer según la forma de la cubeta, la forma de la superficie y el número de medios que interviene, estableciendo a su vez un contraste entre estos aspectos.

Con este tipo de experiencias se posibilita que el maestro pueda establecer que la refracción no debe estar supeditada al cambio de dirección ni a las formas de las cubetas, pues el rayo refractado también puede comportarse como una normal. Por ello, en esta nueva situación el cambio de medio cuenta como otra característica fundamental para dar cuenta de la refracción en ausencia de la desviación de la luz. Esta primera organización sugiere una nueva imagen de la refracción en los siguientes términos: la refracción se presenta cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro que posee propiedades ópticas distintas a las del primero y en el que se puede evidenciar o no un cambio de dirección.

Es importante resaltar que las experiencias planteadas tienen que ver con el rayo de luz cuando incide en la superficie plana del medio⁴³. Este tipo de actividades posibilitan otras preguntas que el maestro puede canalizar para ampliar la experiencia que se construye, por ejemplo, puede preguntarse por los problemas de frontera presentes en la superficie del medio: ¿por qué la luz al llegar a la superficie se devuelve (se refleja), se desvía, o por qué pasa a través de él?, y ¿cómo entraría a jugar en este sentido cuando se encuentra con superficies curvas y distorsionadas? Por tanto, las actividades no deben pensarse solo para las superficies planas, pues la forma de la superficie cuenta como una característica más del medio. Lo anterior posibilita construir por parte del maestro un abanico amplio de experiencias para dar cuenta del medio.

El presente trabajo, sin pretender ser del todo concluyente, sí ofrece elementos de los que

⁴³ Para este caso solo se propone trabajar con superficies planas, pero el maestro podrá optar por otra forma de superficie, como por ejemplo las superficies curvas.

se pueden derivar otras investigaciones que pongan en juego las actividades propuestas y amplíen sus alcances. En este sentido, se convierte en un espacio favorable y significativo para los maestros que permitirá ir construyendo horizontes conceptuales que lleven a nuevas maneras de pensar la enseñanza de las ciencias. Sin duda, estas reflexiones aspiran a fundamentar una perspectiva de trabajo en torno a la indagación histórica desde la perspectiva sociocultural de la ciencia con fines pedagógicos.

7.9 Conclusiones

Al identificar de manera contextualizada las preguntas problemas que posibilitaron la construcción del conocimiento científico de propagación de la luz, es posible también identificar los elementos con potencial didáctico para la enseñanza de la óptica por parte de los maestros de ciencias. Por ello, el análisis histórico crítico del fenómeno de propagación de la luz ayuda a reubicar los procesos de explicación de los maestros de ciencias en categorías de enseñanza o tópicos a tener en cuenta en el aula, en este caso particular, el papel que juega el medio.

La construcción de una mejor comprensión de los procesos dados en la construcción del conocimiento científico en torno al fenómeno de propagación y refracción de la luz, conlleva a una mejor apropiación del saber disciplinar a la hora de enseñar. En este ámbito, poder encontrar la pluralidad de construcciones dadas al fenómeno de propagación y refracción de la luz le otorga a la ciencia el carácter relativo y temporal en sus procedimientos, leyes, principios y teorías.

Si el maestro no tiene una sólida formación en la construcción de su saber disciplinar y pedagógico, el texto le impondrá la visión de ciencia que sustenta su trabajo de aula. Solo un maestro capaz de un análisis reflexivo al interior de la historia de las ciencias podrá construir elementos conceptuales para establecer una relación con el texto, donde este no sea su única guía, sino un referente, pero que puede presentar carencias, limitaciones y fallas para su trabajo en el aula; lo cual necesariamente comportará debilidades e incompetencias en su enseñanza.

El establecimiento de una relación competente entre la historia de las ciencias y la enseñanza de las ciencias llevará o favorecerá notablemente los procesos de enseñanza en la práctica de los maestros. Cuando un maestro es capaz de asumir los elementos conceptuales que se derivan de esta relación su enseñanza se verá fortalecida e innovada, y como consecuencia de ello dará cabida a la construcción del conocimiento en el aula.

Referencias

- Alvarenga, B. (1981). *Física general II*. México, D. F., México: Harla.
- Araújo, S. M. & Orlando da Silva, F. W. (2009). The wave theory of Huygens in textbooks for undergraduate courses. *Revista Ciência & Educação*, 15(2).
- Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales. (2001). Monográfico. Libros de texto 11 BNC. Editorial Graó.
- Ayala, M. M. et al. (2004). La enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural. *Revista Física y Cultura*, 7.
- Bachelard, G. (1948). *La formación del espíritu científico*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Argos.
- Bautista, M. (2005). *Física II Santillana*. Colombia: Ed. Santillana.
- Berstein, B. (1993). *La construcción social del discurso pedagógico*. Bogotá, Colombia: Editorial Griot.
- Cerquera, M. Y. (2006). Hacia un análisis histórico-epistemológico de la óptica: El caso de propagación y refracción de la luz, elementos para la enseñanza de las ciencias (Tesis de maestría, Universidad del Valle, Cali).
- Elkana, Y. (1983). *La ciencia como un sistema cultural. Una aproximación antropológica* (vol. III). Bogotá, Colombia: Sociedad colombiana de epistemología.
- Fleck, L. (1986 [1935]). *La génesis y el desarrollo de un hecho científico* (Trad. L. Meana). Madrid, España: Alianza Editorial.
- García, E. G. (2002). Recontextualización de saberes en la enseñanza de las ciencias. *Revista Innovación y Ciencia*, X(3-4).
- García, E. G. (2015). Línea de investigación en estudios socioculturales y enseñanza de las ciencias. En A. Claret (comp.), *Estatuto epistemológico de la investigación*. Cali, Colombia: Ed. Universidad del Valle.
- Granes, J. & Caicedo, L. M. (1997). Del contexto de producción del conocimiento al contexto de la enseñanza. *Revista Colombiana de Educación*. Bogotá.
- Greca, I. & Moreira, M. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 16(2).
- Holliday, D. & Resnick, R. (1999). *Física 2*. México: Compañía editorial continental, S.A. de C.V.
- Huygens, C. (1690). *Traite De La Lvmiere. Ou sont expliquees. Les causes de ce qui luy arrive*. Leide, Francia: P. van der Aa.
- Iparraguirre, L. M. (2007). Una propuesta de utilización de la historia de la ciencia en la enseñanza de un tema de física (ley de Snell). *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 25(3).
- Izquierdo, M (2005). Estructuras retóricas en los libros de ciencias. *Tarbiya Revista de investigación e innovación educativa*, 36.
- Newton, I. (1977 [1675]). *Tratado de Óptica. Tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz*. Madrid, España: Alfaguara.
- Pesa, M. (1999). Concepciones y preconcepciones referidas a la formación de imágenes. Resumen de tesis doctoral. *Revista de Enseñanza de la Física*, 12(1).
- Pla, Cortés. (1945). *Huygens-Fresnel: La teoría ondulatoria de la luz*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Losada, S. A.
- Prigogine, I. & Stengers, I. (1997). *La nueva alianza*. Barcelona, España: Círculo de lectores.
- Serway, R. & Beichner, R. (2002). *Física para ciencias e ingeniería*. México, DF: Ed. Mc Graw Hill.
- Valero, M. (2001). *Física fundamental 2*. Bogotá, Colombia: Grupo editorial Norma.
- Zitzewitz, P. W. & Neff, R. F. (2000). *Física 2 Principios y Problemas* (Trad. J. Caro & M. García). Colombia: Ed. Mc Graw Hill.

CAPÍTULO 8

Diseño de actividades para el estudio de la modelización del movimiento uniforme acelerado (MUA) en estudiantes universitarios

Olga Lucia Godoy Morales
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
ogodoy@udistrital.edu.co

Contenidos

Resumen

8.1 Introducción

8.2 La historia y la filosofía de las ciencias y la enseñanza de las ciencias

8.3 Relaciones entre modelización e historia de las ciencias una revisión inicial

8.4 Problema didáctico: enseñanza de la cinemática

8.5 Metodología para el desarrollo de la estrategia didáctica

8.6 Estrategia didáctica

8.7 Actividades de la unidad didáctica: una experiencia de aula

8.8 Implicaciones para la enseñanza de la física

Referencias

Diseño de actividades para el estudio de la modelización del movimiento uniforme acelerado (MUA) en estudiantes universitarios

Resumen

El capítulo plantea la relación entre dos líneas de investigación de la didáctica de las ciencias: la modelización y la historia y la filosofía de las ciencias (HFC) por medio del estudio del movimiento uniformemente acelerado (MUA) en estudiantes de física de un programa tecnológico en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá, Colombia). Se presenta avances del diseño de una propuesta didáctica que se espera contribuya a que los estudiantes aprendan ciencia, aprendan sobre la ciencia y aprendan a hacer ciencia, siguiendo los planteamientos de Hodson (1992, 2014). El objetivo de la investigación es estudiar la modelización que realizan los estudiantes universitarios, pertenecientes al programa de tecnología, sobre el MUA al abordar estudios históricos de Galileo, cuando realizan actividad científica universitaria (término que está en construcción teórica y que surge a partir de la actividad científica escolar, propuesta por Izquierdo (1998), soportada en la modelización y basada en la historia de la física y realizando la réplica del experimento del plano inclinado de Galileo en clase.

8.1 Introducción

Este capítulo presenta una propuesta didáctica basada en el desarrollo de la tesis doctoral que actualmente adelanto titulada “Modelización del Movimiento Uniformemente Acelerado (MUA) en estudiantes universitarios a partir del estudio de un caso histórico”.

En términos generales, plantea la relación entre dos líneas de investigación de la didáctica de las ciencias: la modelización y la contribución de la historia y la filosofía de las ciencias a la enseñanza de las ciencias, por medio del estudio del movimiento uniformemente acelerado (MUA) en estudiantes de física de un programa tecnológico en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Se presentan apartes del diseño de una propuesta didáctica que se espera contribuya a que los estudiantes aprendan ciencia, aprendan sobre la ciencia y aprendan a hacer ciencia, siguiendo los planteamientos de Hodson (1992, 2014). Si bien hay desarrollos investigativos en las dos líneas, son pocas las investigaciones que relacionan la modelización y la historia de las ciencias como se muestra en una próxima sección. A nivel de la disciplina se evidenció que persisten dificultades en la enseñanza de los conceptos básicos de cinemática, y en los temas de movimiento uniforme y uniformemente acelerado. Por lo tanto, las investigaciones educativas sobre este tema siguen siendo de gran interés para la enseñanza de la física universitaria.

Esta temática es importante para los docentes e investigadores del área de la física, porque provee nuevas formas de pensar la docencia y nuevos enfoques sobre la educación en ciencias a nivel universitario, y provee materiales para trabajar en el aula de clase por medio de la transposición didáctica.

8.2 La historia y la filosofía de las ciencias y la enseñanza de las ciencias

La línea de investigación sobre contribuciones de la historia y la filosofía de las ciencias a la enseñanza de las ciencias tiene una trayectoria de más de 40 años al interior de la didáctica de las ciencias (Matthews, 1994). Esta ha desarrollado diferentes estrategias de incorporación en la enseñanza de las ciencias, entre ellas, la réplica de experimentos e instrumentos científicos, análisis de controversias históricas, resolución de problemas desde el punto de vista histórico, estudio de modelos históricos, escritura creativa y juego de roles.

Según Izquierdo (2004) algunos de los aportes de la historia de las ciencias adaptadas a la enseñanza de la física son:

- Proveer preguntas genuinas, es decir, preguntas orientadoras de la actividad física escolar que permita enseñar física sobre temas claves para su enseñanza.
- Proporcionar instrumentos (los cuales contienen muchas ideas científicas) provenientes de las disciplinas, los cuales contribuyen a las explicaciones científicas, por ejemplo, ¿cómo funcionan?, ¿para qué se utilizaron?, ¿cómo se desarrollaron? Son muestras de cómo el científico intervino en el mundo. Estos instrumentos pueden ser de carácter histórico, como el caso del plano inclinado de Galileo Galilei incorporado en esta investigación. Galileo aportó la pregunta, el método y el mecanismo para resolver el problema de la caída de los graves. Además, la explicación del tema, en su libro *Dos nuevas ciencias*, da cuenta del ingenio de Galileo a nivel teórico, experimental y muestra sus habilidades retóricas tan valiosas para conocer sus razonamientos científicos.
- Aportar en la reconstrucción de lo cognitivo de un tema científico, por ejemplo, cómo se desarrolló el modelo del movimiento uniformemente acelerado.
- Finalmente, permitir “comprender lo que pasa en momentos de ‘cambio de paradigma’ en los que aparecen nuevas finalidades de la actividad científica, surgen nuevas formas de intervención y se consolidan nuevas ‘reglas del juego’ con las que poner a prueba nuevos modelos del mundo” (Izquierdo, 2004, p. 120).

8.3 Relaciones entre modelización e historia de las ciencias una revisión inicial

La revisión bibliográfica reportó una baja incorporación de la historia de la física a la enseñanza de la misma y pocos estudios a nivel universitario. Las revisiones se hicieron en las bases de datos Scopus e ISI WEB y es posible afirmar que hay pocos estudios que hayan relacionado la modelización, la historia de física y el movimiento uniformemente acelerado.

Los criterios de búsqueda utilizados con ISI WEB fueron: modelling + uniformly accelerated motion (un artículo pertinente); modelling in science + motion (doce artículos); modelling + science education + history of science (ocho artículos relacionados con la búsqueda); modelling in science + history + physic (no se encontraron referencias); y modelling + science education. De este último se encontraron 108 artículos, de los cuales al revisar los resúmenes se seleccionaron seis que eran pertinentes al trabajo de investigación y que estaban desarrollando algún criterio de los seleccionados.

Los criterios de búsqueda con Scopus fueron: modelling + science education (se reportaron 717 artículos y solo 18 pertinentes); modelling + motion (se reportaron 245 artículos y solo cuatro pertinentes); modelling in science + history + physic (no se encontraron documentos); modelling + science + history (se encontraron 342 artículos y se seleccionaron tres que eran pertinentes al trabajo de investigación y que estaban desarrollando algún criterio de los seleccionados).

La revisión bibliográfica realizada sobre modelos y modelización, sobre las diferentes estrategias para la incorporación de la historia de la ciencia en la enseñanza de la física y aquellos que reportaban las dificultades de los estudiantes cuando aprenden temas de cinemática; fue posible reflexionar sobre cuatro aspectos: a) cómo la línea de modelos y modelización desde la didáctica de las ciencias permite desarrollar actividad científica escolar y permear la estrategia didáctica de una asignatura –física newtoniana– con el tema del movimiento uniformemente acelerado, de tal forma que permita su formalización y desarrollo; b) la importancia de estudiar la modelización que realizan los estudiantes sobre el MUA, porque a través de los modelos, los estudiantes explican el mundo; c) realizar un proyecto didáctico como lo propone Izquierdo (2007) a partir de diferentes saberes disciplinares; y d) las estrategia de incorporación de la historia de la física en el aula debido a que contribuye a mejorar la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.

Adicionalmente, se encontró que existen pocos estudios en la historia y la filosofía de la ciencia (HFC) y la didáctica de las ciencias (DdC) a nivel universitario, y que aún no se ha explorado la réplica de experimentos y de instrumentos como una estrategia para potenciar la generación de los modelos teóricos de los estudiantes. Las revisiones con las bases de datos Scopus e ISI WEB permiten afirmar que hay pocos estudios que hayan relacionado modelización, historia de física y movimiento uniformemente acelerado.

8.4 Problema didáctico: enseñanza de la cinemática

El concepto de movimiento es importante para la física newtoniana, su estudio se puede realizar a través de la cinemática o la dinámica. En la mayoría de los textos universitarios el tema se aborda inicialmente desde la perspectiva de la cinemática y se procede con la dinámica y las leyes de Newton como marco explicativo.

Sin embargo, la enseñanza del tema de movimiento no resulta sencilla. Por un lado los estudiantes tienen concepciones intuitivas que traen al aula de física, las cuales parecen algo vagas e indiferenciadas (Trowbige & McDermott, 1980), y por otro, sus explicaciones a menudo se apoyan en supuestos que difieren de los conceptos de la ciencia (Carrejo & Marshall, 2007).

Algunos estudios e investigaciones sobre la comprensión del fenómeno del movimiento que se mencionarán a continuación muestran la vigencia y necesidad de realizar propuestas didácticas para la enseñanza de la cinemática, por ejemplo, sobre el movimiento uniformemente acelerado, porque en los estudiantes persisten problemas de aprendizaje que dificultan su comprensión.

El grupo de Educación en Física de la Universidad de Washington liderado por Lillian McDermott ha investigado durante más de tres décadas la comprensión de los estudiantes sobre el tema de movimiento. Trowbige & McDermott (1980) estudiaron la habilidad de los estudiantes para aplicar los conceptos de cinemática a la interpretación del movimiento observado en el laboratorio o en la vida diaria, basándose en el concepto de velocidad. Una de las dificultades encontradas fue que los estudiantes tienen problemas para diferenciar los conceptos de velocidad y de posición. Estos mismos investigadores en 1981 realizaron una investigación con estudiantes de cursos introductorios de física de la Universidad de Washington con el fin de evaluar cómo comprendían el concepto de aceleración como razón de cambio. El estudio reportó que los estudiantes tenían dificultades en diferenciar la velocidad y la aceleración. En 1987 McDermott, Rosenquist & Van Zee reportaron la dificultad de los estudiantes en

relacionar las gráficas con los conceptos físicos y con el mundo real. Los investigadores Shaffer & McDermott (2005) realizaron un estudio con estudiantes universitarios sobre el tema de la aceleración de los objetos que se mueven a lo largo de distintas trayectorias bajo diferentes condiciones. Una vez analizados los datos propusieron cuatro categorías que describían los errores más comunes de los estudiantes con relación a la interpretación física de los fenómenos. Estas fueron: razonamiento incorrecto acerca de la cinemática en puntos arbitrarios a lo largo de la trayectoria; razonamiento incorrecto para un punto de inflexión; razonamiento incorrecto para el punto en el que un objeto parte del reposo; y razonamiento incorrecto (o incompleto) acerca de la aplicación de la dinámica a la cinemática.

Viennot (1979) estudió el razonamiento espontáneo de estudiantes franceses, mayoritariamente de bachillerato hasta tercer año de universidad. Los estudiantes utilizaban en sus razonamientos dos nociones diferentes de la dinámica, generalmente designados por la misma palabra: “fuerza”, una asociada con la velocidad de un movimiento, y otra a su aceleración.

El estudio realizado por Giorgi, Concari, & Pozzo (2005) plantea que, si bien los sujetos no poseen una conceptualización científica de la fuerza y que esta se encuentra asociada con el movimiento, se podría decir que en relación con las ideas iniciales de los sujetos sobre cuerpos en movimiento existen concepciones cercanas a conceptos físicos tales como la cantidad de movimiento y la energía, pero que estos son exteriorizados empleando la palabra fuerza.

En los resultados de la investigación sobre el desarrollo de modelos matemáticos del movimiento con estudiantes universitarios (futuros profesores) y estudiantes graduados en ciencias y matemáticas en un curso de física Marshall & Carrejo (2008) reportaron que, aunque algunos estudiantes estaban familiarizados con los conceptos convencionales de posición, velocidad y aceleración, la mayoría de los estudiantes tenían dificultades para utilizar estos conceptos al momento de caracterizar movimientos reales o hipotéticos.

El trabajo de Taşar (2010) detalla las dificultades de los estudiantes en la comprensión del concepto de aceleración. En el estudio realizado sobre la comprensión de los movimientos constante y acelerado, con niños y adolescentes entre los cinco y los dieciséis años, Ebersbach, Van Dooren, & Verschaffel (2011) encontraron que la mayoría de los participantes basaron sus respuestas en la hipótesis de una relación lineal entre el tiempo y la distancia, lo cual es correcto para el movimiento con velocidad constante, mas no para el movimiento uniformemente acelerado.

Los estudios e investigaciones sobre movimiento anteriormente mencionados muestran la vigencia y necesidad de estudiar los conceptos relacionados con cinemática, como el movimiento uniformemente acelerado, porque en los estudiantes persisten dificultades que entorpecen su comprensión y es pertinente la realización de propuestas didácticas que contribuyan a que ellos aprendan física.

8.5 Metodología para el desarrollo de la estrategia didáctica

El trabajo de investigación está enmarcado en el énfasis en enseñanza de las ciencias el Doctorado Interinstitucional de Educación y en la línea de investigación relaciones entre la historia y la filosofía de las ciencias y la didáctica de las ciencias. Es una investigación cualitativa con intervención en el aula. El objetivo propuesto es comprender la modelización que realizan los estudiantes universitarios, pertenecientes al programa de tecnología, sobre el movimiento uniformemente acelerado (MUA) al abordar estudios históricos de Galileo.

La investigación se desarrolla con una población entre 35 a 40 estudiantes de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá, Colombia) pertenecientes en su mayoría al programa de Tecnología en Topografía. Sus edades pueden oscilar entre los dieciséis y diecisiete años, quienes van a cursar el espacio académico de física newtoniana.

La metodología desarrollada en esta sección corresponde solo a una parte del proceso metodológico de la investigación. El interés de este capítulo es socializar cómo se diseñó la estrategia didáctica con el fin de que los profesores de ciencias se familiaricen con una propuesta de incorporación de aspectos históricos de las ciencias en la enseñanza.

Se trabaja en cuatro etapas, primero, la fundamentación teórica; segundo, el diseño de la estrategia didáctica (unidad didáctica y actividades); tercero, desarrollo de la intervención y evaluación; y finalmente, análisis de resultados y ajustes.

En la primera etapa se realiza la fundamentación del caso histórico y la réplica del experimento histórico por parte del investigador para establecer las fortalezas y las posibles dificultades que pueden tener los estudiantes con la réplica del plano inclinado.

En la segunda etapa, denominada diseño de la estrategia didáctica, se trabaja en el diseño del estudio del caso histórico, de los instrumentos, de la estrategia didáctica y el proceso de regulación. Paralelamente se diseñan los instrumentos para identificar las ideas previas

de los estudiantes y realizar el seguimiento a sus modelos. Las preguntas orientadoras a) ¿qué tengo?, b) ¿qué hago?, c) ¿qué pasa?, y d) ¿por qué pasa? propuestas por Izquierdo (2004) guardan desde la disciplina relación con la modelación, el lenguaje, el pensamiento y la acción.

En la tercera etapa, denominada desarrollo de la intervención, se implementa la estrategia didáctica. Los resultados obtenidos se constituyen en insumos para la cuarta etapa, llamada análisis de resultados y ajustes, la cual es transversal al proceso metodológico.

8.6 Estrategia didáctica

A continuación se presenta el desarrollo de la unidad didáctica como avance de la segunda etapa de la investigación denominada “diseño de la estrategia didáctica”.

En esta sección se mostrarán solo algunas de las actividades de la estrategia didáctica. Esta unidad se inició con el desarrollo de un mapa de diseño curricular para la asignatura de física newtoniana (García-Martínez, Mora, & Enciso, 2005), el cual permitió establecer el concepto fundamental de la asignatura y los niveles cognitivo que se podían desarrollar. Posteriormente se procedió a diseñar las actividades correspondientes a la enseñanza de la cinemática, poniendo énfasis en el MUA, y una planificación de las diferentes sesiones de clase.

En la tabla 1, se presenta la lista de las nueve actividades que se diseñaron para la unidad didáctica, las cuales siguen la propuesta de Sanmartí (2002) de tipos de actividades según su finalidad didáctica: de exploración, orientadas a introducción de nuevos conocimientos, de síntesis y de generalización. Es importante señalar que esta tabla propone preguntas para introducir aspectos históricos en clase y preguntas orientadoras que propician los procesos metacognitivos en los estudiantes.

8.7 Actividades de la unidad didáctica: una experiencia de aula

A continuación se presentan algunas de las actividades propuestas para el desarrollo de la unidad didáctica según su finalidad didáctica.

Fase 1. De exploración

Actividad N° 1

El objetivo es identificar las ideas iniciales de los estudiantes sobre el fenómeno del movimiento, a partir de situaciones cotidianas. La sesión de clase inicia con la presentación de los siguientes videos (todos están disponibles en You Tube):

- James Rodríguez. Ganador Mejor Gol del Mundial Brasil 2014.
- Final Moscú. Catherine Ibarguen 14.85.
- El clavado más impresionante de Orlando Duque.
- Usain Bolt. Final 100 metros Beijing 2015.

Luego los estudiantes diligencian la actividad de iniciación en forma individual.

Actividad de iniciación N° 1: mis ideas sobre las situaciones de la vida cotidiana.

Primera parte

a. De los videos que acabas de observar, ¿qué similitudes en los movimientos realizados por los deportistas y de los tipos de movimientos que aprendiste en física puedes identificar? En el siguiente espacio elabora un párrafo explicativo.

--

b. Mediante un diagrama, esquema o gráfica ¿cómo modelarías cada una de las situaciones presentada en los videos (detalla lo mejor posible el modelo)? Elabora un párrafo explicando detalladamente el modelo que escogiste.

<ul style="list-style-type: none">• James Rodríguez. Ganador Mejor Gol del Mundial Brasil 2014	<ul style="list-style-type: none">• Final Moscú. Catherine Ibarguen 14.85
<ul style="list-style-type: none">• El clavado más impresionante de Orlando Duque	<ul style="list-style-type: none">• Usain Bolt. Final 100 metros Beijing 2015

Tabla 1

Descripción de las actividades de la unidad didáctica

Actividad	Actividad en clase de la unidad didáctica	Preguntas para introducir aspectos históricos en clase	Preguntas orientadoras que propician la metacognición en los estudiantes
Iniciación	1. Presentación de los videos sobre el fenómeno del movimiento	<p>¿Cuáles fueron los científicos que aportaron a la comprensión del fenómeno del movimiento?</p> <p>¿Cuáles fueron los investigadores que empezaron a trabajar y reflexionar sobre este fenómeno?</p>	<p>¿Por qué y para qué se estudia el fenómeno del movimiento?</p> <p>¿Qué interpretaciones tienen sobre el fenómeno del movimiento?</p> <p>¿Cómo se puede explicar el movimiento de cada uno de los deportistas, utilizando el MU y MUA?</p> <p>¿Cuáles fueron las similitudes y diferencias de los videos de los deportistas?</p>
Introducción de nuevos conocimientos	<p>2. Lectura sobre el fenómeno del movimiento</p> <p>3. Presentación del video sobre la vida de Galileo Galilei</p> <p>4. Análisis teórico a nivel teórico y experimental del plano inclinado (3 sesiones)</p> <p>5. Análisis de los teoremas sobre el MUA</p>	<p>¿Cuáles fueron los principales aportes de otros campos disciplinares como la geometría, la formación en ciencias y la filosofía a la formación de Galileo Galilei?</p> <p>¿Qué le permitió a Galileo explicar el fenómeno de la caída libre?</p> <p>¿Qué le aportó a Galileo la realización del plano inclinado en la comprensión del MUA?</p>	<p>¿Por qué crees que es necesario que aprendas sobre el contexto social, científico, político de Galileo Galilei para el estudio del MUA?</p> <p>¿Cómo explicó Galileo Galilei las características del MUA?</p> <p>¿Cómo caracterizar el movimiento uniformemente acelerado en términos del desplazamiento y el tiempo?</p> <p>¿Cómo procedió Galileo para establecer las relaciones entre distancia y tiempo para un movimiento uniformemente acelerado?</p>
De síntesis, de recapitulación o estructuración	<p>6. Análisis de gráficas del MU y MUA</p> <p>7. Evaluación a través de la realización de un mapa conceptual</p> <p>8. Evaluación a través de la realización de un video sobre el plano inclinado. ¿Cómo hizo Galileo los experimentos sobre MUA utilizando el plano inclinado de Galileo?</p>	<p>¿Cuáles fueron los recursos conceptuales e instrumentales; los procedimentales y las estrategias que le permitieron a Galileo Galilei estudiar el MUA?</p> <p>¿Cuál es la importancia de Galileo frente a la física actual, en términos del estudio del fenómeno del movimiento?</p>	<p>¿Qué modelo teórico propondrías para explicar la caída libre y el movimiento parabólico?</p> <p>¿Qué modelo teórico propondrías para explicar el movimiento del balón del gol de James o el movimiento de Catherine Ibarguen o de Usain Bolt?</p>
Actividad de aplicación y generalización	9. Construcción de una maqueta que utilice el MU y el MUA		¿Qué experimentos diferentes a los realizados por Galileo Galilei propones para comprender el fenómeno del MUA? Realiza una maqueta funcional

Segunda parte, trabajo en equipo. El propósito de este trabajo es que los estudiantes expongan sus puntos de vista y argumentos del porqué de sus modelos y puedan llegar a acuerdos al escoger un único modelo por equipo.

c. Comparen y discutan sus respuestas y mediante un diagrama, esquema o gráfica: ¿cómo modelarían cada una de las situaciones presentadas en los videos (detallen lo mejor posible el modelo)? Elabora un párrafo explicando detalladamente el modelo que escogieron por equipos y luego utilicen el papel periódico y los marcadores para representarlo.

d. Después fijarán las carteras y uno de los integrantes será seleccionado al azar, para que comparta con sus compañeros los resultados del trabajo en equipo.

El profesor registra en el diario de clase, los aspectos comunes y disímiles de los trabajos presentados por los equipos de estudiantes; los aspectos que desde la teoría son adecuados y los que hay que trabajar. En esta sesión el profesor no ratifica ni corrige los modelos ni las explicaciones de los estudiantes.

Fase 2. Introducción de nuevos conocimientos

Se caracteriza porque a través de ella los estudiantes vinculan sus ideas iniciales con la incorporación de nuevos conocimientos. Para esta fase se establecieron cuatro actividades. La actividad N° 2 es una lectura sobre el fenómeno del movimiento, y su objetivo es que los estudiantes conozcan los cambios que ha tenido la interpretación del fenómeno del movimiento a lo largo de la historia desde Aristóteles hasta el siglo XVII.

La actividad N° 3 es la presentación del video sobre la vida de Galileo Galilei (Mentes brillantes Galileo Galilei <https://www.youtube.com/watch?v=v8Y4wzMggHw>). El objetivo es que los estudiantes contextualicen el momento histórico en que vivió Galileo y pueda reflexionar sobre los intereses académicos, personales, científicos, entre otros, que estuvieron presentes en la vida de Galileo. Se sugiere que en momentos seleccionados del video, el profesor realice una intervención a través de comentarios o preguntas, de tal forma que la presentación del video sea activa y permita la participación de los estudiantes. Las actividades N° 2 y 3 se realizan en una misma sesión de clase.

La actividad N° 4 se propuso como resultado de las dificultades que tenían los estudiantes con la comprensión de las explicaciones teóricas realizadas por Galileo sobre el MUA. Por lo tanto, se diseñó una relacionada con el análisis de los teoremas sobre el MUA basado en el libro *Dos nuevas ciencias*. Se entrega el material y se les solicita a los equipos de trabajo que realicen una exposición en la cual expliquen el teorema o proposición

asignada. Los estudiantes hacen uso de carteleras, y el profesor realiza preguntas para apoyar la comprensión del tema por parte de los estudiantes.

Con relación al trabajo práctico experimental se propusieron cuatro sesiones. La primera es una actividad de introducción de nuevos conocimientos. El objetivo es que cada equipo de trabajo indague sobre el caso histórico del plano inclinado de Galileo Galilei, el cual les permite a los estudiantes avanzar en la comprensión del MUA. Las sesiones dos y tres están relacionadas con la réplica del plano inclinado y la toma de datos para apoyar a los estudiantes a establecer relaciones entre el desplazamiento y el tiempo de un cuerpo que realiza MUA.

La réplica de experimentos es un método de aprendizaje con alto grado de autenticidad y contextualización. Su potencial está en que ayuda a los estudiantes a analizar cómo los científicos del pasado pudieron haber diseñado sus instrumentos, cómo se desarrollaron e interpretaron pruebas y cómo se pudo haber tratado de convencer a los colegas de la credibilidad de su propia investigación mediante el uso de experimentos como dispositivos retóricos (Höttecke, Henke, & Riess, 2012).

A continuación se presenta la actividad N° 5.

Actividad N° 5: de introducción de nuevos conocimientos

Sesión 1

Actividad de laboratorio: reconstrucción histórica del “Estudio del movimiento uniformemente acelerado a través del plano inclinado de Galileo Galilei”.

Problema: ¿Qué tipo de réplica histórica en torno al plano inclinado de Galileo Galilei podrían diseñar que evidencie las relaciones entre la posición y el tiempo para el análisis del movimiento uniformemente acelerado? Elaboren una maqueta por equipo de trabajo.

Indicaciones:

Esta es la primera de una serie de cuatro actividades de laboratorio que permitirán la reconstrucción histórica del estudio del movimiento uniformemente acelerado a través de la réplica del plano inclinado de Galileo Galilei. En la primera sesión se presentarán cada uno de las maquetas realizados por los equipos de laboratorio y se analizará el funcionamiento de ellas. Se socializará los avances de cada equipo en la clase. En cada sesión se identificarán las fortalezas y los aspectos a mejorar en cada una de las maquetas. El tiempo es de 10 minutos por cada mesa de trabajo. Los estudiantes pueden utilizar

recursos informáticos. Cada estudiante diligenciará al comienzo de cada clase una rúbrica que dé cuenta de su proceso de aprendizaje.

Para realizar la socialización en la primera sesión, se propone contextualizar el caso histórico “Estudio del movimiento uniformemente acelerado a través del plano inclinado de Galileo Galilei” desde los siguientes referentes históricos: a) sociopolítico, b) científico, es decir, los conocimientos en ciencias sobre el tema, c) reconstrucción histórica del caso, y d) la formación personal del científico (biografía, formación académica, características personales, entre otras).

Es deseable que los estudiantes aborden entre otras las siguientes problemáticas:

- ¿Qué sé sobre Galileo Galilei y su época?
- ¿Cuál era la concepción del mundo de Galileo, cuál era la concepción aceptada en esa época?
- ¿Cuáles eran las principales preguntas que se planteaba Galileo en relación con el movimiento?
- ¿Por qué la Iglesia Católica realizó un proceso en la Inquisición en contra de Galileo Galilei?

Los estudiantes por equipo de trabajo entregan un texto de elaboración propia en tres páginas, empleando normas APA para la citación y las referencias.

En esta sesión de clase el trabajo del profesor está dirigido a que los estudiantes reflexionen sobre sus modelos e identifique por qué requieren realizar cambios a sus maquetas. Es recomendable que una vez realizadas las presentaciones de los estudiantes, el profesor genere con la participación de los ellos las posibles respuestas a las preguntas establecidas en la actividad N° 5.

Sesión 2

Actividad N° 6: introducción de nuevos conocimientos

Actividad de laboratorio “Estudio del movimiento uniformemente acelerado a través del plano inclinado de Galileo Galilei”.

Continuando con la segunda sesión de laboratorio, el objetivo es la reconstrucción histórica del estudio del movimiento uniformemente acelerado a través de la réplica del plano inclinado de Galileo Galilei.

El profesor les solicita a los estudiantes, primero que diligencien la parte A de la actividad 6; segundo que ensamblen su plano inclinado; y tercero que realicen la lectura sobre la adaptación a la jornada tercera y completen la parte B.

Parte A: trabajo individual

De acuerdo con tu experiencia en la primera sesión de trabajo experimental, tu trabajo individual y por equipo durante la semana y tus reflexiones personales.

1. Sintetiza para socializar a tus compañeros las mejoras o ajustes realizados a tu plano inclinado. En el siguiente espacio explica las razones por las cuales realizaron estas modificaciones.

2. ¿Qué metodología propondrían para poder determinar las relaciones entre el desplazamiento y el tiempo que caracterizan el MUA utilizando el plano inclinado? Escriban su respuesta a continuación.

Parte B: trabajo en equipo

Realicen la lectura completa sobre la jornada tercera, en la cual Galileo establece las características del movimiento uniformemente acelerado y las demuestra. Indaguen cómo utilizó Galileo Galilei sus conocimientos musicales para establecer las relaciones entre el desplazamiento y el tiempo para este movimiento.

a. ¿Qué metodología propondrías para determinar las relaciones entre el desplazamiento y el tiempo que caracterizan el MUA usando el plano inclinado y el metrónomo?

b. ¿Qué metodología propondrías para determinar las relaciones entre el desplazamiento y el tiempo que caracterizan el MUA usando el plano inclinado y el reloj de agua?

Se les solicita a los estudiantes llevar a la sesión 3 una botella de plástico de tres litros o más, abierta en la parte ancha de la botella, la cual se utilizará como recipiente de almacenamiento para el reloj de agua. Dependiendo de los elementos de laboratorio de los que disponga la institución, el profesor apoyará a los estudiantes para que los orificios por los cuales saldrá el agua sean de diámetros pequeños y homogéneos.

Sesión 3

El objetivo de la tercera actividad de laboratorio es realizar la toma de datos, para caracterizar el movimiento uniformemente acelerado de una esfera, usando una la réplica del plano inclinado de Galileo Galilei construidas por los estudiantes.

Parte procedimental

1. Ensamblar los planos inclinados para poder realizar el registro de datos.
2. Solicitar los materiales adicionales: vaso precipitado, soporte universal, una nuez, una balanza de triple brazo.
3. Armar el reloj de agua.

Parte A

Con base en la lectura previa del texto sobre las *Dos nuevas ciencias* y el trabajo inclinado replicado por ustedes, ¿qué metodología propondrían para determinar las relaciones entre el desplazamiento y el tiempo que caracterizan el MUA en el plano inclinado? Antes de comenzar a medir muéstrele el procedimiento al profesor y la tabla de datos propuesta, identificando las variables a medir.

Usando la réplica del plano inclinado y el reloj de agua, realicen una toma de datos que permita establecer relaciones entre desplazamiento y tiempo para un movimiento uniformemente acelerado. Recuerden que deben realizar varias tomas de datos. A continuación expliquen la importancia de realizar varias mediciones.

Parte B

Autoevaluación de las tres sesiones de trabajo

Identifica las debilidades y las fortalezas de tu maqueta. ¿Por qué las consideran debilidades o fortalezas?

¿Qué aspectos de la maqueta 1 no estaban en la maqueta 2? ¿Qué aspectos de la maqueta 2 no estaban en la maqueta 3? Expliquen detalladamente por qué los omitieron.

Elaboren dos preguntas interesantes que les podrían formular a los equipos de laboratorio, relacionadas con la réplica del plano inclinado de Galileo Galilei y el modelo del movimiento uniformemente acelerado.

Etapa 3. Síntesis

En esta fase, el profesor propicia que los estudiantes estructuren y sistematicen sus modelos teóricos, en este caso, con relación al MUA.

Sesión 4. El profesor propone la elaboración del video después de haber reflexionado sobre el fenómeno del MUA durante varias sesiones. El objetivo es realizar un video por equipo de trabajo que permita sintetizar los aspectos teóricos, experimentales, históricos del fenómeno del MUA.

Pautas:

Todos los estudiantes del equipo participan en el video, comunicando sus ideas de una manera creativa e innovadora. La duración del video es de cinco a ocho minutos.

El video debe incluir los siguientes parámetros:

A. Sobre la construcción del plano:

- Reconstruyan el proceso de construcción de su plano inclinado (primera vez, segunda vez y tercera vez).
- Justifiquen la toma de decisiones durante cada una de las fases de la construcción del plano inclinado que permitieron optimizar su funcionamiento.

B. El plano inclinado y el MUA

- ¿Cuál creen ustedes que fue la pregunta que se planteó Galileo que lo llevó a construir el plano inclinado?
- Justifiquen por qué Galileo Galilei se interesó en el plano inclinado.
- Expliquen de qué manera Galileo Galilei construyó las relaciones básicas presentes en el movimiento uniformemente acelerado.
- Expliquen cómo y por qué Galileo Galilei usó el reloj de agua en el proceso de construcción de las relaciones básicas presentes en el MUA.
- Argumenten cómo influyó la formación musical de Galileo Galilei en la recogida de los datos sobre el MUA.
- Expliquen el rol de las campanas en el proceso de construcción de las relaciones básicas presentes en el movimiento uniformemente acelerado.

- Expliquen el modelo matemático que hizo Galileo para el MUA.

C. Análisis de los resultados

- Explica detalladamente el proceso de recogida de datos, análisis de resultados y resultados obtenidos para el análisis del MUA, usando el reloj de agua y el metrónomo, de tal manera que pudieron establecer relaciones entre desplazamiento y tiempo para el movimiento uniformemente acelerado.
- ¿Qué resultado les sorprendieron de las mediciones con respecto al plano inclinado usando los diferentes métodos y por qué?
- Compartan con la audiencia uno de los aspectos que les pareció llamativo durante todas las clases en que trabajamos con Galileo Galilei y el MUA.

1. Análisis de algunas actividades realizadas por los estudiantes a partir de la prueba piloto

El análisis de alguna de estas actividades le provee herramientas al profesor de cómo los estudiantes construyen sus modelos del MUA, de cuáles son sus ideas iniciales y de cómo los enriquecen cuando incorporan aspectos históricos sobre el fenómeno estudiado.

El desarrollo de la unidad didáctica inició con la comunicación por parte de la profesora a sus estudiantes sobre el estudio del fenómeno de movimiento y con la presentación de los videos.

La producción de los estudiantes es el resultado de sus discusiones y consensos para intentar dar respuesta a las preguntas de las actividades. Los estudiantes realizaron una socialización ante los demás compañeros de clase y el material (carteleros) fue recogido para ser digitalizado.

Con relación a la actividad N° 1 y la pregunta b: mediante un diagrama, esquema o gráfica, ¿cómo modelarías cada una de las situaciones de la vida real presentada en los videos (detalla el mejor modelo)? Elabora un párrafo explicando detalladamente el modelo que escogiste.

Las imágenes 1 y 2 presentan algunos de los modelos construidos por los estudiantes producto de la actividad N° 1, la respectiva explicación de los estudiantes y una interpretación de los modelos realizados. Esta actividad permitió conocer las ideas y modelos de los estudiantes sobre el MUA y las relaciones que establecen con los

diferentes deportes. Se resalta el hecho de que no siempre existe relación entre lo que los estudiantes piensan, dicen y hacen.

En la imagen 1, la relación entre las representaciones gráficas y sus escritos no guardan una estrecha relación entre la explicación física del fenómeno y las carteleras, por ejemplo, la producción de los estudiantes del grupo A, para el salto de Catherine Ibarguen incluyen para su explicación ley de Hooke para explicar el salto, la fuerza de fricción, la gravedad (no es posible determinar si hacen referencia a una aceleración o una fuerza). Con relación a Usain Bolt, identifican las siguientes fuerzas: fricción de los pies con el piso del estadio, fricción del aire. En el gol de James Rodríguez, mencionan aspectos de la dinámica: ley de acción y reacción, inercia y fuerza de fricción. Del salto de Orlando Duque mencionan la acción de la gravedad (no hay precisión si es fuerza o aceleración).

Las representaciones del grupo A son descriptivas y no mencionan ningún tipo de movimiento en física. A nivel de la comunicación escrita enuncia ideas sin elaboración de párrafos y por lo tanto, no hubo elaboración de explicaciones.

En la producción de los estudiantes del grupo B (imagen 2) es posible establecer una relación entre el fenómeno de la vida cotidiana y el movimiento uniformemente acelerado. Para el salto de Catherine Ibarguen incluyen en su explicación que la deportista está realizando un movimiento parabólico, que en el aire sigue manteniendo la dirección de su velocidad y asocian el cambio de velocidad a efectos de la gravedad. Con relación a Usain Bolt, identifican que la velocidad está cambiando con respecto al tiempo, que su movimiento es una "línea recta" y que realiza un movimiento uniformemente acelerado (lo generalizan para todo el recorrido). En el gol de James Rodríguez lo representan como un movimiento semiparabólico y lo explican desde el hecho de que el balón tiene una velocidad inicial, no completa la parábola y que la gravedad siempre está actuando (no hay precisión si es fuerza o aceleración de la gravedad). El salto de Orlando Duque lo describen como un movimiento en caída libre, ideal (vacío) y la fuerza de gravedad lo empuja hacia abajo.

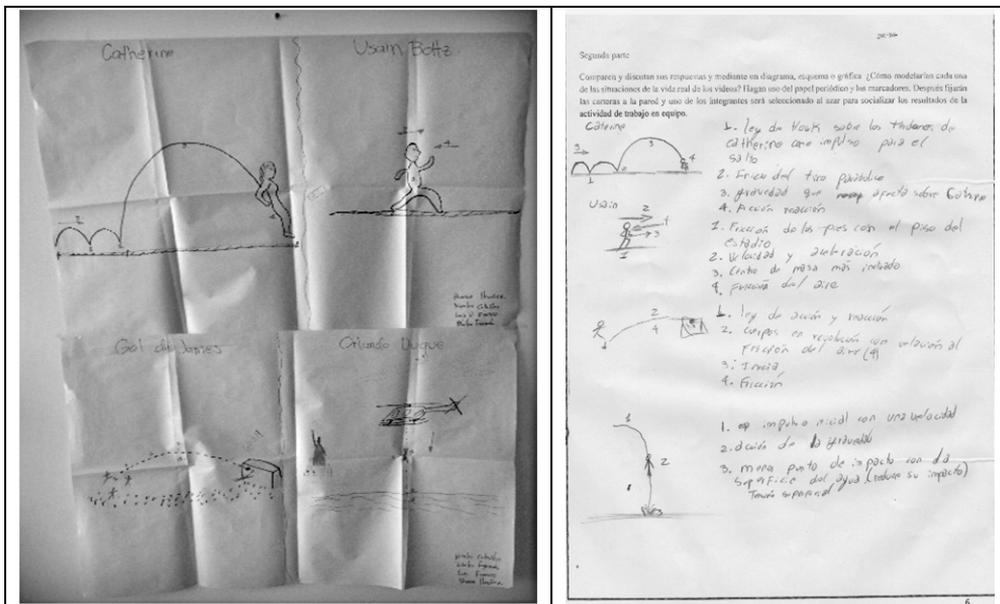


Imagen 1. Trabajo de los estudiantes grupo A.

Las representaciones del grupo B son descriptivas, en el caso de Catherine Ibarquén no dibujan parábolas, sino segmentos de rectas direccionadas indicando la dirección del movimiento. Para el caso de Usain Bolt utilizan segmentos de recta direccionadas, sin embargo, no indican que representan las flechas. Realizan párrafos explicativos estableciendo relaciones entre los movimientos de los deportistas y los movimientos físicos, evidenciando correspondencia entre ellos.

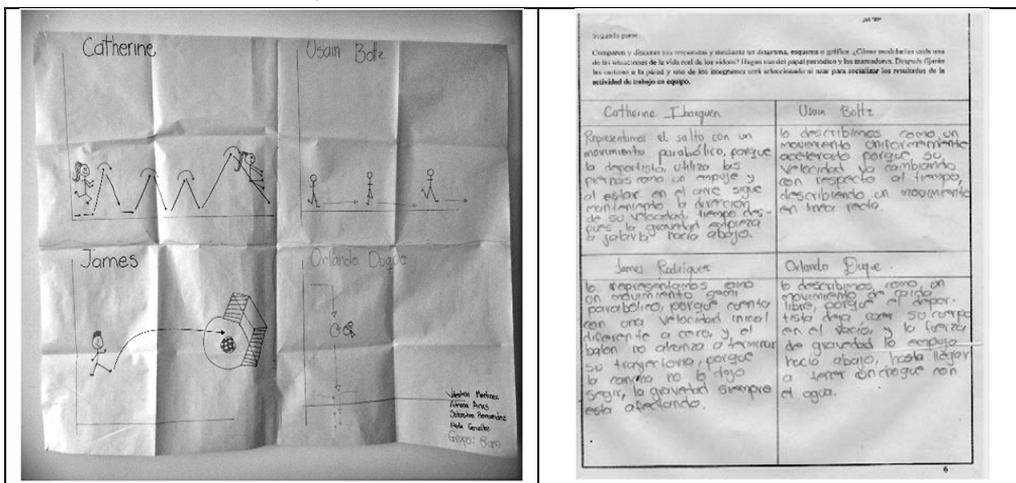


Imagen 2. Trabajo de los estudiantes grupo B.

Al analizar la pregunta de esta actividad “A partir de los videos que acabas de observar, qué conceptos de la física que conoces están presentes en cada situación”. Tanto el grupo A como el grupo B utilizan, en su mayoría, los conceptos físicos que identifican en la construcción de sus explicaciones como se muestra en la imagen 3. Hay correspondencia entre esta pregunta, los modelos y sus respectivas explicaciones; aunque no necesariamente hay correspondencia con la explicación física del fenómeno.

Finalmente, con relación a sus modelos iniciales es posible inferir que existen variados modelos y con diferentes niveles de construcción para el MUA.

Situación 1	Situación 2	Situación 3	Situación 4
Catherine	Usain Boltz	Gol de James	Orlando Duque
Velocidad aceleración Ley de Hooke Ley de Newton Ley de acción y reacción. Fricción.	Velocidad Aceleración Fricción. Ley de acción y reacción.	Inercia. Fuerza Velocidad Aceleración Gravedad Campo en rotación	Caida libre Gravedad Choque, reducción de impacto. Aceleración. Velocidad Tensión superficial

Grupo A

Situación 1	Situación 2	Situación 3	Situación 4
Catherine	Usain Boltz	Gol de James	Orlando Duque
- movimiento parabolico - Gravedad - impulso - fricción - Empuje - Velocidad	- Rapidez - Fricción - impulso - movimiento uniformemente acelerado	- movimiento parabolico - impulso - Gravedad - Fricción - Velocidad	- Caída libre - Gravedad - Densidad - Fricción

Grupo B

Imagen 3. Conceptos físicos identificados.

A continuación se realiza un segundo análisis a partir de la primera y tercera actividad experimental, en la cual los estudiantes presentaron su primera maqueta y una socialización con base en las preguntas de la actividad N° 5 (introducción de nuevos conocimientos) del plano inclinado.

Como se puede apreciar en la imagen 4A y 4B, las maquetas iniciales de los estudiantes son pequeñas, con grandes ángulos, con materiales que producen bastante rozamiento entre la esfera y la superficie del plano. Sin embargo, estas maquetas y las respectivas socializaciones permitieron establecer cuáles son los cambios que se requiere realizar en cada caso y por qué la necesidad de aumentar la longitud de la hipotenusa y disminuir el ángulo de inclinación si se quiere replicar el plano inclinado de Galileo Galilei, de tal forma que pueda puedan realizarse mediciones que permitan establecer relaciones entre el desplazamiento y el tiempo para un MUA. En la imagen 4C está un estudiante explicando por medio del plano inclinado su interpretación sobre las relaciones que estableció Galileo para explicar este fenómeno.

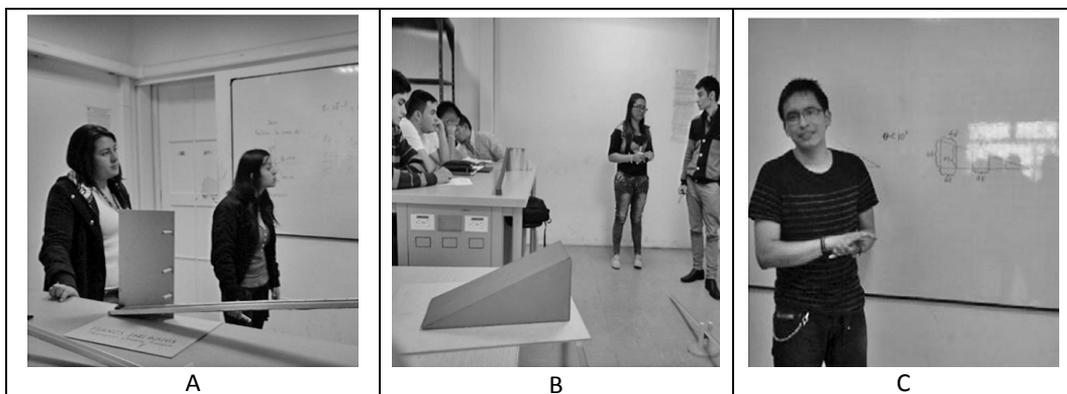


Imagen 4. Estudiantes en la socialización de la primera actividad del plano inclinado.

En las imágenes 5A, 5B y 5C se pueden apreciar diferentes réplicas del plano inclinado realizadas por los estudiantes. Los cambios significativos fueron la longitud del plano, el tipo de material que utilizan para la elaboración, la disminución de la pendiente y el acople del plano, porque al ser réplicas caseras los estudiantes transportan los planos realizados desde sus casas.

Los estudiantes en las imágenes 6A, 6B y 6C están utilizando el reloj de agua para realizar la medición de tiempos. Por ser una réplica casera la precisión del reloj es baja, sin embargo, es posible realizar mediciones de tiempo y establecer relaciones entre los desplazamientos de la esfera y los tiempos que emplea en realizar esos recorridos.

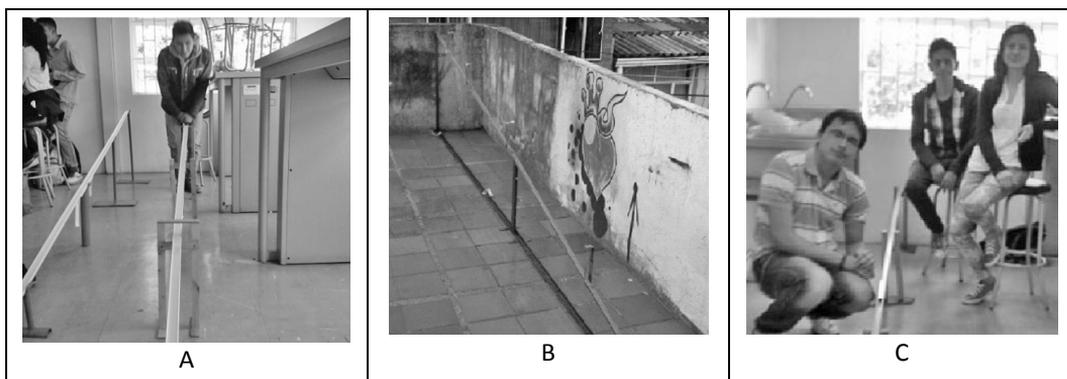


Imagen 5. Diferentes versiones del plano inclinado realizadas por los estudiantes.

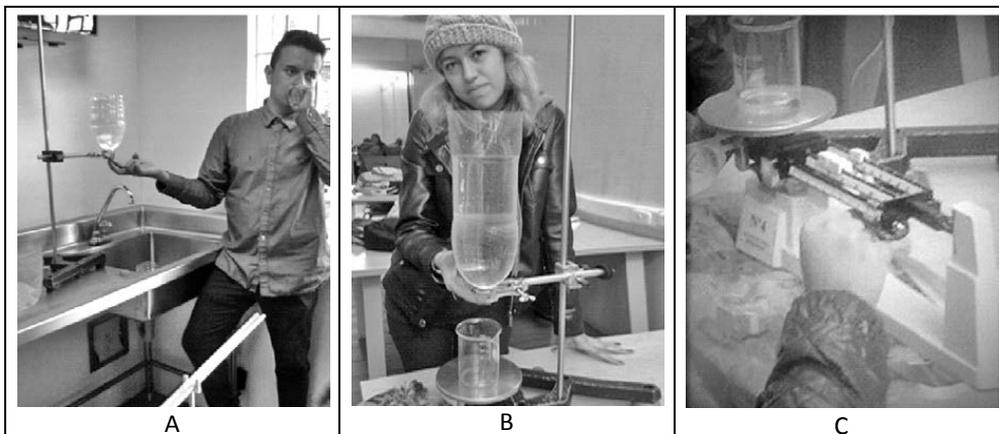


Imagen 6. Estudiantes realizando toma de datos utilizando el reloj de agua.

8.8 Implicaciones para la enseñanza de la física

Al analizar las experiencias de los estudiantes y los resultados iniciales obtenidos después de haber realizado una prueba piloto con los estudiantes universitarios, es posible inferir que la didáctica de las ciencias a nivel universitario es un valioso campo de trabajo para realizar investigaciones educativas que contribuyan a mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Por ejemplo, generar posibles relaciones entre la historia de las ciencias y la modelización en el contexto de la didáctica de las ciencias contribuye a que los estudiantes no solo aprendan física, sino cómo se genera el conocimiento científico, y aprendan a hacer física.

Además, la construcción escolar del caso histórico del plano inclinado de Galileo Galilei generó la contextualización sociopolítica, geográfica, el análisis del conocimiento científico de la época, de tal manera que el profesor pudo diseñar materiales para trabajar en el aula de clase con sus estudiantes, utilizando la transposición didáctica.

Desarrollar actividades que potencien la modelización en los estudiantes permite que los estudiantes desarrollen una de las principales competencias humanas: la capacidad de pensar de manera teórica, de interpretar lo que se ve y se toca, de intervenir en ello y de prever fenómenos futuros, en términos de entidades abstractas (Izquierdo, 2004).

Referencias

- Carrejo, D. & Marshall, J. (2007). What is mathematical modelling? Exploring prospective teachers' use of experiments to connect mathematics to the study of motion. *Mathematics Education Research Journal*, 19(1), 45-76. <https://doi.org/10.1007/BF03217449>
- Ebersbach, M., Van Dooren, W., & Verschaffel, L. (2011). Knowledge on accelerated motion as measured by implicit and explicit tasks in 5 to 16 year olds. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9(1), 25-46. <https://doi.org/10.1007/s10763-010-9208-5>

- García-Martínez, A., Mora, M., & Enciso, S. (2005). La formación pedagógico didáctica del profesorado universitario de las áreas de ciencias naturales y tecnología. *Enseñanza de Las Ciencias*, Número ext, 1-5. Recuperado de http://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2005nEXTRA/edlc_a2005nEXTRAp313forped.pdf
- Giorgi, S., Concari, S., & Pozzo, R. (2005). Un estudio sobre las investigaciones acerca de las ideas de los estudiantes en fuerza y movimiento. *Ciência & Educação*, 11(1), 83-95. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v11n1/08.pdf>
- Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science*, 14(5), 541-562.
- Hodson, D. (2014). Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534-2553. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.899722>
- Höttecke, D., Henke, A., & Riess, F. (2012). Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project. *Science & Education*, 21(9), 1233-1261. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9330-3>
- Izquierdo, M. (2004). Un Nuevo Enfoque de la Enseñanza de la Química: Contextualizar y Modelizar. *The Journal of the Argentine Chemical Society*, 92(4/6), 115-136.
- Izquierdo, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las Ciencias Sociales*, 6, 125-138. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=324127626010>
- Marshall, J. & Carrejo, D. (2008). Students' mathematical modeling of motion. *Research in Science Teaching*, 45(2), 153-173.
- Matthews, M. R. (1994). Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias: La aproximación actual. *Enseñanza de Las Ciencias*, 12(2), 255-277.
- McDermott, L., Rosenquist, M., & Van Zee, E. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, 55(6), 503-513.
- Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria*. Madrid: Editorial Síntesis, S.A.
- Shaffer, P. & McDermott, L. (2005). A research-based approach to improving student understanding of the vector nature of kinematical concepts vector and operational definitions. *American Journal of Physics*, 73(10), 921-931. <https://doi.org/10.1119/1.2000976>
- Taşar, M. F. (2010). What part of the concept of acceleration is difficult to understand: the mathematics, the physics, or both? *ZDM Mathematics Education*, 42, 469-482. <https://doi.org/10.1007/s11858-010-0262-9>
- Trowbig, D. & McDermott, L. (1980). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics*, 48(12), 1020-1028.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 205-221.

CAPÍTULO 9

La función de la tabla periódica en la enseñanza de la química: ¿un sistema de elementos o una clasificación de átomos? Propuesta de una herramienta para el análisis

Carlos Guillermo Agudelo Carvajal

Grup de Llenguatge i Ensenyament de les Ciències (LIEC)/
Departament de Didàctica de les Matemàtiques i les Ciències Experimentals
Facultat de Ciències de l'Educació, Universitat Autònoma de Barcelona
Bellaterra, España
agudelocar@gmail.com

Contenidos

Resumen

9.1 Introducción

9.2 Justificación teórica de la propuesta

9.3 Desarrollo e implicaciones para la práctica docente e investigadora

9.4 Conclusiones

Referencias

La función de la tabla periódica en la enseñanza de la química: ¿un sistema de elementos o una clasificación de átomos? Propuesta de una herramienta para el análisis

Resumen

Un siglo y medio después que Mendeleiev la usó por primera vez para enseñar la ley que había enunciado, la tabla periódica de los elementos (TP) sigue apareciendo en muchos libros de texto y forma parte de la mayoría de los cursos escolares, así como también de muchos cursos universitarios. Su función docente se mantiene, pero las entidades que le dan sentido actualmente son diferentes a las que enseñaba Mendeleiev. En este trabajo exploramos un instrumento para analizar cómo se presenta la TP en los libros de texto de química de secundaria y bachillerato, y cómo la usamos los profesores. Se trata de una herramienta de reflexión didáctica, basada en la historia y la filosofía de la química, útil para interpretar y caracterizar las entidades científicas que se están enseñando en los cursos de química cuando se trata la TP y la función que se le da a esta. Su uso nos muestra que las entidades químicas presentes en las narrativas más frecuentes se pueden caracterizar mediante una esquema bidimensional, intersectando un eje que denominamos epistemológico (un continuo entre la “cosa” y el concepto) y uno que denominamos ontológico (entre lo macro y lo micro), trascendiendo así los esquemas unidimensionales macro y microsimbólico. También se puede ver que a pesar de la diversidad retórica, los libros (y sus reinterpretaciones) suelen limitar la TP como “archivador” de átomos, dejando de lado la riqueza didáctica de la idea de sistema químico que presentó Mendeleiev en esta inscripción que se mantiene en los cursos y en el imaginario compartido como uno de los íconos de la química.

9.1 Introducción

La ley periódica de los elementos químicos y la tabla periódica (TP), como inscripción que la representa, es una de las piedras angulares en la capitalización de la aportación reciente de la filosofía de la química, no solo en las investigaciones químicas de punta (Hoffman, 2009; Scerri, 2012), sino también, y de primordial interés, en el campo de la didáctica de las ciencias, en la mejora de la enseñanza de la química (Erduran, 2013; Izquierdo-Aymerich, 2013, 2014; Linares, 2004; Tobin, 2013). Particularmente, para Izquierdo-Aymerich (2013, 2014), la TP representa uno de los hitos científicos en los que, con ayuda de la filosofía y la historia de la química, se puede identificar la emergencia de conceptos básicos sobre los cuales podría ser efectivo basar el diseño de la química escolar.

Esta importancia es innegable si consideramos la omnipresencia que tiene la TP en los cursos de química y en los materiales didácticos, así como su permanencia como ícono de la química (Scerri, 2007). Ahora bien, esta omnipresencia nos confunde muchas veces, a los profesores, sobre cuál es la función que ha tenido en la historia de la química y cuáles son las funciones que le podemos otorgar en nuestros cursos. El estudio de estas cuestiones lo hemos abordado desde dos ideas principales. En primer lugar, consideramos que es interesante y muy prometedor desde el punto de vista de la didáctica de la ciencia

reflexionar sobre la posibilidad de plantear la TP como herramienta de aprendizaje, más allá de plantearla simplemente como un objetivo en sí mismo, de la misma manera que ha sido herramienta didáctica desde su propósito inicial (Bensaude-Vincent, 1991). La consideramos un pilar fundamental para la construcción del conocimiento químico y, principalmente, del concepto de elemento químico en el período ampliamente prolífico, al cual aportaron los trabajos al respecto, comprendido entre finales del siglo XIX y principios del XX. En segundo lugar, creemos que vale la pena reflexionar sobre el estatus conceptual y ontológico que tuvo, que ha tenido y que tiene la entidad elemento químico y, de acuerdo con ello, cuál es el que le queremos dar en cada uno de los niveles educativos, de tal manera que la enseñanza de la tabla periódica sea lo más enriquecedora posible desde el punto de vista de la didáctica de la química.

En nuestra tesis doctoral (Agudelo, 2015) y algunos trabajos preliminares sobre este tema (Agudelo, 2008; Agudelo, Marzábal, & Izquierdo-Aymerich, 2009), hemos visto cómo en los libros de texto, a pesar de la gran diversidad retórica que presentan, podemos encontrar un relato más o menos uniforme cuando se presenta la TP, en el cual se le da la mayor importancia a esta como un objetivo de enseñanza en sí mismo. Como mucho, en algunos libros podemos encontrar relatos que nos la muestran como una herramienta estática de clasificación de información ordenada, dejando de lado muchas veces la riqueza y potencial que tiene como herramienta dinámica de pensamiento heurístico para interpretar el mundo y darle sentido a las entidades químicas. Por otra parte, la mayoría de estos relatos nos presentan las entidades atómicas como objeto de clasificación, y ya no como el elemento abstracto al que se refería Mendeleiev cuando enunció la ley periódica y propuso su tabla en el libro de texto que escribió y rediseñó constantemente para sus estudiantes.

El relato habitual al que nos referimos en el párrafo anterior nos suele mostrar cómo Mendeleiev hizo una clasificación de sustancias simples en un momento histórico en el cual esto era una necesidad debido a la gran cantidad de sustancias que se estaban descubriendo. Se nos enseña también que, basándose en esta clasificación, Mendeleiev hizo predicciones que resultaron exitosas y que acreditaron su descubrimiento, pero también se nos muestran algunos de sus “errores” más importantes. Posteriormente, se suele explicar que dichos errores quedaron solventados más adelante cuando Moseley descubrió el criterio “correcto” de ordenación, lo que llevó a la clasificación de los átomos en vez de las sustancias.

Consideramos que este relato habitual puede favorecer la desconexión entre el mundo de los alumnos, las sustancias macroscópicas con las que experimentan, y las entidades simbólicas que queremos que utilicen para representarlo, al mostrar como erróneo el criterio de clasificación de la masa atómica de las sustancias simples utilizado por Mendeleiev y señalar como correcto el criterio del número atómico, en contraposición con el anterior. Esto deja en el punto de mira, como objetivo de aprendizaje, los átomos, sus características y la tabla mediante la cual los podemos ordenar y clasificar, sin establecer una relación entre estos y las sustancias que explicamos con su representación.

Esta manera de presentar la TP tiene consecuencias importantes sobre lo que se explica acerca de la química y puede caer en una falta de coherencia entre la química de las sustancias, que es la que le da sentido a las entidades científicas, y los átomos físicos con sus partículas, niveles, subniveles y configuraciones electrónicas.

9.2 Justificación teórica de la propuesta

La importancia de la filosofía de la química en la didáctica se está haciendo cada vez más evidente desde que, a mediados de los años 1990, algunos filósofos y químicos comenzaron a cuestionar la posición de la física como paradigma representativo de la ciencia, y el consiguiente enfoque que compara todas las leyes bajo los mismo parámetros, es decir, en palabras de Emma Tobin, “the naïve normative approach” (2013, p. 1582). Desde entonces se inició una gran actividad científica focalizada en estudiar la química desde una perspectiva filosófica y, poco a poco, este interés ha ido permeando la didáctica de las ciencias, de tal manera que en los últimos años han aumentado considerablemente las publicaciones al respecto. La edición especial de la revista *Science & Education* es un testimonio de ese interés creciente “... in capitalizing on the philosophical aspects of chemistry for the improvement of chemical education” (Erduran, 2013, p. 1560).

La ley periódica de los elementos químicos es, precisamente, una de las piedras angulares de esta capitalización de aspectos filosóficos de la química, no solo por la importancia que tiene en la historia de la química (Bensaude-Vincent, 1991; Scerri, 2007), en la filosofía de la química (Erduran, 2007; Erduran & Scerri, 2002; Tobin, 2013) y en la enseñanza de la química (González, 2013; Linares, 2004; Linares & Izquierdo-Aymerich, 2007); sino también (y aquí radica la especial importancia didáctica que queremos resaltar) porque representa uno de los hitos en los que, con ayuda de la filosofía y la historia de la química, se puede identificar la emergencia de conceptos químicos básicos, en los cuales se puede basar el diseño de la química escolar (Izquierdo-Aymerich, 2013, 2014).

Teniendo en cuenta esta importancia histórica y filosófica y el carácter de hito histórico como potencial para diseñar la química escolar, la tabla periódica (y la entidad elemento químico que ordena y a la cual también da significado) puede ser utilizada como engranaje fundamental de coherencia entre la química de las sustancias y el lenguaje simbólico de la química, de tal manera que este sea una herramienta para explicar y actuar sobre el mundo al que tienen acceso los alumnos cuando consideramos una formación química para todos.

Como afirman Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo:

... The “dialectic” of this atom with real chemical phenomena is in many cases lost; students do not become acquainted with such phenomena and therefore fail to understand the atomic theory, as they cannot “see” what it comes to explain (2009, p. 452).

En este sentido, consideramos clave el marco del Modelo Teórico Cambio Químico, que concreta el Modelo Cambio Químico Escolar, en el cual convergen las diferentes dimensiones cognitivas, y que "... es una manera de ver en conjunto, lo más básico e irreductible de la química escolar" (Merino-Rubilar, 2009, p. 290). Como afirma Izquierdo-Aymerich, este Modelo Teórico Cambio Químico "... está formado por representaciones, lenguajes y aplicaciones específicas, que son los requisitos que Toulmin (1972) reclama para las disciplinas" (2014, p. 13). Es por ello que tomamos como referente teórico y metodológico el uso que se le da a la TP en el proyecto "Competències de pensament científic – Ciències 12-15" (Izquierdo-Aymerich, Guitart, & Aliberas, 2014), en el cual se la plantea de una manera tal que los alumnos puedan vivir su propia ciencia, mediante un proceso de modelización en el que se le da una gran importancia al lenguaje, buscando que este sea lo más genuino posible (Izquierdo-Aymerich & Márquez, 2013).

Así pues, la propuesta de la Química Escolar (Izquierdo-Aymerich, 2013, 2014) establece un marco interesante para explorar heurísticas de la TP, considerando el nivel meso en el cual se representan las estructuras de las sustancias para construir entidades que ayuden a los alumnos a intervenir los cambios que tienen lugar en el mundo que les rodea y a razonar dicha intervención. Es pensando en esta exploración de heurísticas de la TP para el diseño de la Química Escolar que hemos desarrollado el tipo de esquemas que explicaremos a continuación y que, como se verá, permiten obtener información clave para reflexionar sobre la entidad elemento químico que se comunica en las clases de química, y también ayudan a mostrar en qué medida esta entidad facilita o dificulta una coherencia entre el mundo percibido por los alumnos y la manera química de explicarlo e intervenirlos de manera razonada.

9.3 Desarrollo e implicaciones para la práctica docente e investigadora

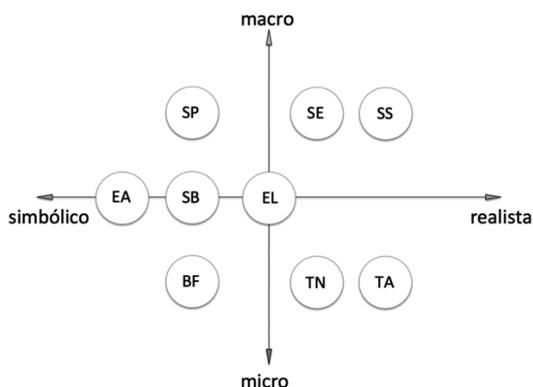
En diversos trabajos anteriores sobre el tratamiento de la tabla periódica en los libros de texto (Agudelo, 2008; Agudelo et al., 2009), así como en una revisión bibliográfica que reportamos en nuestra tesis doctoral (Agudelo, 2015), evidenciamos el uso de una gran variedad de etiquetas o significantes para denominar la entidad elemento químico, que se refieren a significados diferentes teniendo en cuenta tanto la escala espacial como el nivel simbólico. La etiqueta *sustancia pura* (SP), por ejemplo, se refiere al nivel macroscópico, mientras que la etiqueta *tipo de átomo* (TA), se refiere al nivel submicroscópico. Asimismo, la etiqueta *sustancia básica* (SB) es de un nivel conceptual más abstracto que la etiqueta *sustancia simple* (SS) que tiene un significado más concreto, más "realista", es decir, que se refiere a la categoría de lo que podemos percibir con los sentidos.

De la misma manera, encontramos que es habitual asignar determinados atributos a los elementos químicos a los cuales también se les puede asignar una posición relativa dentro

de un esquema bidimensional ontológico-epistemológico. Por ejemplo, cuando se afirma que un elemento es una especie que sobrevive al cambio químico, se está haciendo referencia a sus características más abstractas y macroscópicas que cuando se afirma, por ejemplo, que un elemento es una especie que se caracteriza por el número de protones que tiene su núcleo, lo cual nos refiere a sus características ontológicas de partícula atómica y a un nivel más realista que conceptual cuando se explica que estas características son las que verdaderamente los identifican. Como explicamos a continuación, este tipo de esquemas se pueden construir también con otras cuestiones como las propiedades de los elementos químicos que se suelen tratar como periódicas, o con los ítems que estructuran las secuencias de conceptos que se siguen a través de un determinado relato para introducir la TP en un curso de química o en un libro de texto.

Etiquetas para referirse a la entidad elemento químico

Teniendo en cuenta las dos dimensiones que consideramos para interpretar la información que comunican los libros de texto sobre los elementos químicos, la epistemológica (como un continuo entre lo más realista y lo más conceptual) y la ontológica (como un continuo entre el mundo macroscópico y el submicroscópico), elaboramos el siguiente esquema:

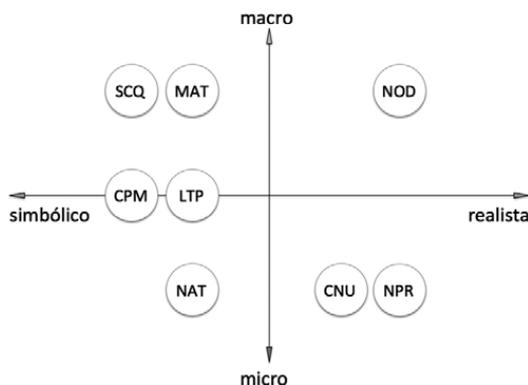


De esta manera podemos representar cada una de las etiquetas, según su posición relativa en cada una de las dos dimensiones, ocupando así un lugar en uno de los cuatro cuadrantes o en alguna de las fronteras que los separan. Las siglas representan las siguientes etiquetas: sustancia pura (SP), entidad abstracta (EA), sustancia básica (SB), sustancia elemental (SE), sustancia simple (SS), bloque fundamental de la materia (BF), tipo de átomo (TA), tipo de núcleo (TN), elemento químico o, simplemente, elemento (EL). Como veremos más adelante con un ejemplo para cada cuestión, una manera de usar estos esquemas para el análisis y la interpretación del contenido sobre la TP puede llevarse a cabo marcando con colores los círculos de las etiquetas según la frecuencia de uso o según la importancia que se le da dentro del relato (explícita e implícita, por

ejemplo), y así visualizar las tendencias en el tipo de entidad a la cual nos estamos refiriendo cuando utilizamos determinadas etiquetas.

Atributos de los elementos químicos

Es evidente que en los relatos que hablan de los elementos químicos cuando introducen la TP se utilizan diversos atributos para describirlos; atributos que también se pueden estar refiriendo a aspectos relacionados con distintos niveles de abstracción o de escala, a veces de manera indiscriminada y a veces coherentemente. Así, pues, con los atributos más utilizados en los libros de texto también pudimos elaborar un esquema bidimensional ontológico-epistemológico, de la siguiente manera:



En este caso, las siglas corresponden a los siguientes atributos comúnmente utilizados para caracterizar los elementos químicos: sobrevive al cambio químico (SCQ), no se puede descomponer por medios químicos (NOD), se caracteriza por el número atómico (NAT), por el lugar que ocupa en la tabla periódica (LTP), por el número de protones (NPR), es una entidad que carece de propiedades macroscópicas (CPM), se caracteriza por la masa atómica (MAT) y por la carga nuclear (CNU).

Propiedades periódicas de los elementos químicos

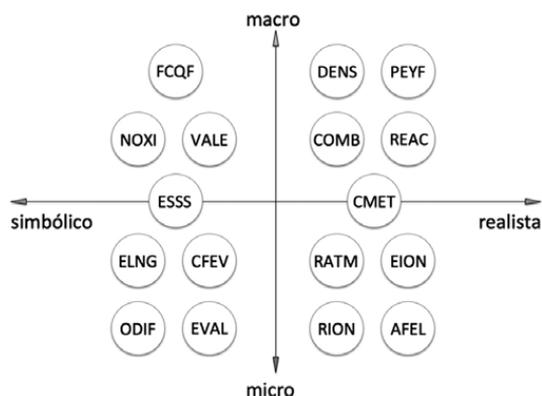
Las dos cuestiones anteriores, las etiquetas y los atributos que se suelen asignar a los elementos químicos en los relatos más habituales, frecuentemente están un poco dispersos en el texto y a veces parece que se presentan de manera indiscriminada sin tener en cuenta los matices que pueden subyacer en la utilización de unos o de otros (Agudelo, 2015). A diferencia de estos dos, hay un tercer aspecto que suele encontrarse de manera explícita en los relatos habituales y que generalmente se usa para justificar la importancia de la TP y, en ocasiones, intentar reforzar su carácter “objetivo”, muchas veces tratando de demostrar erróneamente la exactitud y la certeza de las posiciones que ocupan los diferentes elementos en sus filas y columnas. Este tercer aspecto, que también se puede representar con el tipo de esquemas bidimensionales que estamos proponiendo, es bastante útil para identificar información sobre la entidad a la que se está refiriendo un

relato determinado cuando muestra la periodicidad de sus propiedades. Podemos discernir sobre su dimensión ontológica según si un relato se refiere, por ejemplo, a las propiedades periódicas de los átomos, como las configuraciones electrónicas o el radio atómico, o si apelan más a la periodicidad de las propiedades de las sustancias macroscópicas, como el punto de ebullición o la densidad. Igualmente, podemos discernir sobre su estatus epistemológico si un relato se refiere, por ejemplo, a las fórmulas de los compuestos que forma un elemento, o la reactividad de la sustancia simple. Evidentemente, los relatos que hacen uso exclusivo de las propiedades atómicas como propiedades periódicas están comunicando una periodicidad más exacta, casi numérica, que los relatos que apelan a las propiedades macroscópicas puesto que estas son claramente menos “juiciosas” en su comportamiento periódico.

Aunque lo más habitual es encontrar la justificación de la periodicidad apoyada exclusivamente en las propiedades atómicas (Agudelo, 2015), también podemos encontrar relatos que se apoyan solamente en las propiedades macroscópicas, dejando de lado la riqueza y la complejidad de la periodicidad del elemento químico como entidad conceptual que abarca diversos niveles, tanto de escala como de realismo, y dejando de lado también el nivel meso, intermedio en las dos dimensiones, y en el cual se pueden modelar estructuras diversas que también muestran una periodicidad interesante para la modelación de la materia en el contexto de la TP, y que son las que podemos intentar ver “amb ulls d’arquitecte” (Izquierdo-Aymerich et al., 2014, p. 74).

Así pues, es evidente la importancia que tiene el hecho de tomar conciencia sobre cuáles son las propiedades que se usan para justificar la periodicidad de los elementos químicos, lo que también nos da indicios de la inclinación retórica de los textos, ya sea hacia los aspectos físicos del átomo (hacia el átomo físico), modelado mediante las fuerzas electrostáticas entre protones y electrones, o hacia los aspectos más químicos (hacia el átomo químico), modelando las reacciones químicas mediante interacciones termodinámicas.

Con las diversas propiedades periódicas que encontramos en los libros de texto también podemos elaborar un esquema bidimensional ontológico-epistemológico, de la siguiente manera:



En este caso, las siglas se refieren a las siguientes propiedades de los elementos químicos generalmente usadas como propiedades periódicas: energía de ionización (EION), densidad (DEN), fórmulas de los compuestos que forma (FCQF), valencias (VALE), electrones de valencia (EVAL), números de oxidación (NOXI), orbital diferenciador (ODIF), capacidad de combinación química (COMB), radio atómico (RATM), carácter metálico (CMET), configuración electrónica de valencia (CFEV), afinidad electrónica (AFEL), radio iónico (RION), reactividad (REAC), electronegatividad (ELNG), puntos de ebullición y de fusión (PEYF) y estructura de la sustancia simple (ESSS).

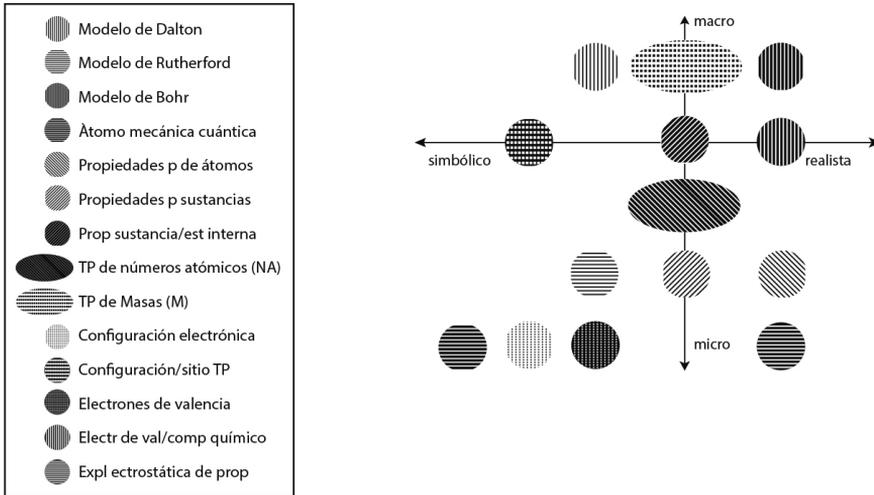
Secuencia para introducir la TP

Finalmente, el diagrama bidimensional ontológico-epistemológico también es útil para describir la secuencia de contenidos mediante la cual se introduce la TP. Los relatos más habituales suelen introducirla después de haber descrito diversos modelos atómicos, generalmente siguiendo un orden cronológico histórico: primero el modelo de Dalton, después el modelo de Rutherford, el modelo de Bohr y según el nivel educativo, el átomo de la mecánica cuántica. Después de esta presentación cronológica, la secuencia habitual presenta la TP de Mendeleiev, su importancia en el contexto histórico, sus aciertos, sus "errores" corregidos después con el nuevo criterio del número atómico y, finalmente, se describen algunas propiedades periódicas. Según el caso, los diversos relatos pueden hacer énfasis en las propiedades de las sustancias macroscópicas y/o en las propiedades atómicas, así como en sus aspectos más realistas y/o más conceptuales.

En algunos casos, no tan habitualmente, también podemos encontrar que los modelos atómicos se presentan después de la TP, y/o que esta se presenta de manera descriptiva y se la construye a partir de las propiedades periódicas antes de presentar el átomo como modelo para explicarlas. Este enfoque es bastante diferente al anterior y tal diferencia se puede evidenciar mediante los diagramas que presentamos aquí. Veríamos, por ejemplo, un tránsito desde lo macrorrealista (las sustancias y sus propiedades periódicas macroscópicas), hacia lo microrrealista (el átomo químico como unidad de interacción) para después pasar a lo microabstracto (el átomo físico) y, finalmente a lo microrrealista

(el átomo físico con electrones, protones y neutrones cuyas interacciones se explican mediante las fuerzas eléctricas).

Como se puede ver en el esquema siguiente, cada una de las dos secuencias anteriores estaría representada por un camino diferente, seguido por el relato a través de los cuadrantes que representan el estatus epistemológico-ontológico de cada ítem de la secuencia. El esquema general que hemos construido es el siguiente (en este caso, representamos cada ítem mediante un color determinado, sin utilizar siglas dentro de los círculos de manera que se pueda poner un número según la posición que ocupa en la secuencia, tal como veremos posteriormente en el ejemplo):



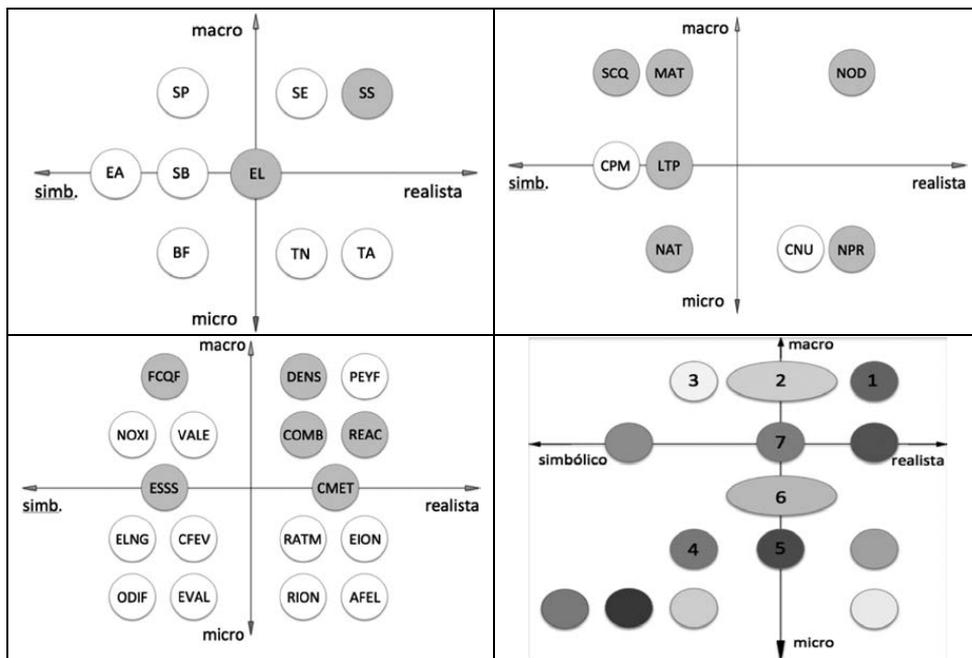
Es importante señalar que hay dos ítems que están representados por óvalos en vez de círculos: la tabla periódica de Mendeleiev, que hemos denominado “tabla periódica de masas” (M) debido a que el criterio de ordenación es la masa atómica, y la tabla periódica que en los libros se suele denominar tabla periódica moderna o tabla periódica actual, que hemos etiquetado como “tabla periódica de números atómicos” (NA) porque utiliza como criterio de ordenación el número atómico. Estos dos ítems están colocados, respectivamente, en las zonas macro y micro del esquema, y superpuestos con el eje vertical porque cada uno de ellos representa una conexión entre los aspectos realistas y simbólicos de los elementos. La M se puede considerar como un nexo entre el mundo real de las propiedades de las sustancias macroscópicas y el mundo conceptual o simbólico de la periodicidad, también macroscópico, idealizado con el criterio de ordenación primario (la masa atómica) junto con el de ordenación secundaria (la agrupación por familias). La NA, por su parte, se puede considerar como un nexo entre las propiedades periódicas de

los átomos, observados desde el mundo conceptual, y las propiedades de los átomos vistos desde una concepción realista, teniendo en cuenta las fuerzas electrostáticas entre las partículas que los conforman. Es por ello que el orden en que se presentan estos dos ítems (M y NA) en cada relato nos da información muy importante para el análisis.

También vale la pena resaltar el ítem que se encuentra en el medio del diagrama, que denominamos relación entre las propiedades de las sustancias y la estructura interna. Dicha relación tiene una posición intermedia para las dos dimensiones porque esta estructura interna se refiere a la forma en que se agrupan los átomos, de tal manera que se pueden imaginar modelos de estructura (metálica, cristalina, molecular) que también muestran cierta periodicidad y que explican las propiedades macroscópicas.

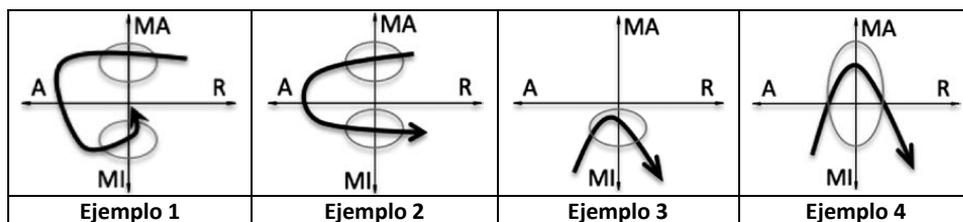
Ejemplo de análisis

Para ilustrar con un ejemplo, utilizaremos los esquemas para representar los cuatro aspectos (etiquetas de elemento, atributos de elemento, propiedades periódicas y secuencia) en la presentación de la TP (unidad 8, sección 3) del texto diseñado en el marco del proyecto “Competències de pensament científic-Ciències 12-15” (Izquierdo-Aymerich et al., 2014).



Como se puede ver en el primer esquema (arriba a la izquierda) las etiquetas utilizadas para referirse a los elementos químicos son dos: elemento químico y sustancia simple; lo cual ya nos indica una tendencia a tratarlos desde el punto de vista más realista y macroscópico de las sustancias químicas. En el segundo esquema (arriba a la derecha), podemos ver toda la pluralidad de atributos que se le otorgan a los elementos químicos, conteniendo aspectos de los cuatro cuadrantes. El tercer esquema nos muestra la tendencia a justificar la periodicidad de los elementos desde el punto de vista macroscópico, lo cual es coherente con las etiquetas que se utilizan para referirse a ellos. Y en el cuarto esquema (abajo a la derecha), podemos observar cómo la secuencia del relato recorre los cuatro cuadrantes, comenzando desde los aspectos macroscópicos y realistas (propiedades periódicas de las sustancias macroscópicas), pasando por la tabla periódica de masas para conectar con el átomo como unidad de reacción química (modelo atómico de Dalton), posteriormente a los aspectos simbólicos microscópicos (modelo atómico de Rutherford), etc.; acabando la secuencia con la relación que existe entre las propiedades periódicas y la estructura interna de las sustancias simples (nivel meso).

El recorrido que describe la secuencia se puede resumir mediante un esquema simplificado que resalta el orden de esta en el paso de un cuadrante a otro, y que también muestra la posición relativa de cada una de las dos tablas periódicas (M y NA) en la secuencia. A continuación mostramos el esquema resumido de la secuencia que acabamos de explicar, seguida en el texto del proyecto “Competències de pensament científic-Ciències 12-15” (Izquierdo-Aymerich et al., 2014) y también mostramos algunos ejemplos de otras secuencias que reportamos en nuestra tesis doctoral (Agudelo, 2015).



El ejemplo 2 se diferencia de la secuencia que acabamos de explicar (ejemplo 1) en que el relato no llega a tratar las estructuras de las sustancias simples, lo cual serviría para acabar de ligar los aspectos de los cuatro cuadrantes, permitiendo así una modelización más completa. En el ejemplo 3, podemos ver que no aparece la tabla periódica de masas y todo el relato se dedica solamente a los aspectos microscópicos, empezando en el átomo abstracto para acabar en la visión realista de este, es decir, en el átomo físico, caracterizado por fuerzas electrostáticas. El ejemplo 4 muestra una nueva convención, respecto a las anteriores, que es la que utilizamos cuando el relato utiliza las dos tablas

periódicas como si fuera una sola; es decir, indicando claramente que la tabla de Mendeleiev es una elaboración preliminar, muy importante pero defectuosa, de la definitivamente correcta que es la que utiliza el criterio de número atómico descubierto por Moseley.

Aunque el objetivo de este capítulo no es analizar el texto en cuestión, y por este motivo no profundizamos en ello, el ejemplo nos parece interesante para mostrar la gran cantidad de información que nos pueden dar estos esquemas bidimensionales, no solo en cuanto al tipo de entidad de la cual se está hablando cuando se tratan los elementos químicos, sino también sobre la función que se le da a la tabla periódica; y, especialmente, si se la trata como una herramienta de pensamiento heurística, para relacionar diversos niveles de abstracción, lo cual nos la enseña como un sistema de elementos químicos, más cercana a la que planteó Mendeleiev; o si se la trata, simplemente, como una herramienta de clasificación, como un archivo de información ordenada sobre los átomos.

9.4 Conclusiones

Teniendo en cuenta el creciente interés de la investigación didáctica en la filosofía de la química y la importancia de la TP en esta, así como su carácter de hito en la construcción del conocimiento químico, vale la pena seguir reflexionando y aportando datos e instrumentos para la investigación didáctica sobre esta inscripción que desde su publicación, por parte de Mendeleiev, hasta nuestros días, mantiene su función didáctica y puede ser uno de los pilares fundamentales del diseño de la química escolar. Con esta finalidad, presentamos en este trabajo un esquema que hemos utilizado como instrumento para caracterizar la funcionalidad que se le otorga a la TP en los relatos más habituales que la introducen y para relacionarla con el estatus epistemológico y ontológico que tiene la entidad elemento químico en dichos relatos.

El esquema, que queremos poner en consideración para su permanente corrección y afinación, nos ha resultado útil como instrumento de análisis para caracterizar las entidades elementales a partir de cuatro aspectos presentes en los relatos que introducen la tabla periódica, tanto en los libros de texto como en la planeación de los cursos. Estos son las etiquetas que usamos los profesores para referirnos a los elementos químicos, los atributos que utilizamos para caracterizarlos y diferenciarlos de otras entidades químicas, las propiedades que usamos para justificar y convencer a los alumnos de la periodicidad de los elementos y de sus posiciones en la TP, y la secuencia que utilizamos para presentarla.

Cada uno de estos aspectos puede analizarse desde el punto de vista epistemológico, teniendo en cuenta si ayuda a decantar la retórica de los relatos que introducen la TP hacia los aspectos más realistas o hacia los más conceptuales de los elementos químicos; y, desde el punto de vista ontológico, teniendo en cuenta si inclinan la retórica de los

relatos considerando las entidades elementales como átomos o como sustancias macroscópicas. Este análisis es importante para la didáctica de la química porque tiene consecuencias directas en la enseñanza en la medida en que, tanto la función que le otorgamos a la TP como el estatus que le damos a las entidades elementales, pueden favorecer el aprendizaje de la TP como una herramienta de pensamiento dinámica, potenciando su riqueza y complejidad, o dejarla relegada a una herramienta de clasificación estática como objetivo de aprendizaje en sí mismo.

A partir de algunos ejemplos hemos mostrado cómo el instrumento que presentamos aquí puede ayudarnos a discernir, de una manera gráfica, basándonos en la historia y en la filosofía de la química, si la secuencia de los ítems que se tratan al introducir la TP en un determinado tipo de relato hace énfasis en esta como una herramienta de clasificación de átomos, según las partículas que los componen y sus posiciones alrededor del núcleo; o si la presenta como una herramienta heurística, mediadora entre el mundo de las sustancias y las entidades que las explican, por medio de las cuales se pueden modelar las interacciones químicas. Para este discernimiento es clave tener en cuenta, y nuestro esquema lo hace evidente, el orden en que cada relato presenta especialmente dos de los ítems considerados generalmente: la inscripción propuesta por Mendeleiev a finales del siglo XIX y lo que la mayoría de libros llaman la tabla periódica moderna o la tabla periódica actual. El primero se puede considerar como un nexo (macroscópico) entre las sustancias reales y la idea de periodicidad, y el segundo se puede considerar como un nexo (microscópico) entre la idea del átomo como unidad de interacción y el átomo como partícula real.

Además de estos dos ítems, es importante resaltar también el papel de un tercero que ubicamos en el centro del diagrama por ser un nexo entre los cuatro extremos de las dos dimensiones: la relación entre las propiedades periódicas de las sustancias macroscópicas y la estructura interna que presentan (que ocupa la posición 7 en la secuencia del ejemplo). Su posición relativa en las secuencias también es clave para recoger información sobre la función que se le otorga en ellas a la TP, puesto que se refiere a la escala meso, que permite imaginar modelos de la arquitectura de las sustancias simples mediante los cuales se pueden explicar algunas propiedades macroscópicas y que, a su vez, presentan cierta periodicidad. Esta mediación micro/macro y a la vez simbólico/realista que explota el relato que usamos como ejemplo, y que evidencia el esquema que presentamos aquí, puede ser una de las claves de la aportación de la TP como herramienta de pensamiento heurístico en la química escolar y, por lo tanto, que nos ayude a reflexionar sobre el uso de la TP; para respondernos si la estamos usando como un sistema dinámico de elementos químicos o como una clasificación estática de átomos físicos.

Referencias

Agudelo, C. (2008). Estratègies retòriques en els llibres de text: diferents aproximacions al mateix contingut. El cas de la llei periòdica. En *Cinquena Trobada de Joves Investigadors dels Països Catalans*. Vic, Catalunya.

- Agudelo, C. (2015). *La función de la tabla periódica en la enseñanza de la química: clasificar o aprender*. Bellaterra, España: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Agudelo, C., Marzábal, A., & Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Distintas narrativas para un mismo contenido: la Tabla Periódica en los libros de texto. *Enseñanza de las ciencias* (Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias), 2892-2895.
- Bensaude-Vincent, B. (1991). Mendeleiev: Historia de un descubrimiento. En *Historia de las ciencias* (1.ª ed., p. 649). Madrid, España: Cátedra.
- Erduran, S. (2007). Breaking the law: promoting domain-specificity in chemical education in the context of arguing about the periodic law. *Foundations of Chemistry*, 9(3), 247-263.
- Erduran, S. (2013). Philosophy, chemistry and education: An introduction. *Science & Education*, 22), 1559-1562.
- Erduran, S. & Scerri, E. R. (2002). The nature of chemical knowledge and chemical education. En J. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. Treagust, & J. Van Driel (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (1.ª ed., pp. 7-27). Netherlands: Kluwer academic publishers.
- González, P. (2013). Per què un monogràfic sobre la taula periòdica? *Educació Química*, (15), 3.
- Hoffman, D. C. (2009). The periodic table. Key to past «elemental» discoveries-A new role in the future? *Journal of Chemical Education*, 86(10), 1122-1128.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2013). School Chemistry: An Historical and Philosophical Approach. *Science & Education*, (22), 1633-1653.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2014). Pasado y presente de la química: su función didáctica. En C. Merino-Rubilar, M. Arellano, & A. Adúriz-Bravo, *Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguajes*. Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Izquierdo-Aymerich, M. & Adúriz-Bravo, A. (2009). Physical construction of the chemical atom: Is it convenient to go all the way back? *Science & Education*, 18(3-4), 443-455.
- Izquierdo-Aymerich, M., Guitart, F., & Aliberas, J. (2014). De l'espelma a la taula periòdica: gestionem els canvis químics. En *Competències de pensament científic - Ciències 12-15* (Vol. Unitat 8). Generalitat de Catalunya, Departament d'Ensenyament.
- Izquierdo-Aymerich, M. & Márquez, C. (2013). Projecte curricular «Competències de Pensament Científic. Ciències 12-15». *Ciències*, (26), 50-51.
- Linares, R. (2004). *Elemento, átomo y sustancia simple. Una reflexión a partir de la enseñanza de la tabla periódica en los cursos generales de química*. Bellaterra, España: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Linares, R. & Izquierdo-Aymerich, M. (2007). La tabla periódica en el Journal of Chemical Education a través del siglo XX. *Tecné episteme y didaxis*, (21), 7-23.
- Merino-Rubilar, C. (2009). *Aportes a la caracterización del «Modelo Cambio Químico Escolar»*. Bellaterra, España: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Scerri, E. (2007). *The periodic table. Its story and its significance* (1.ª ed.). New York, NY: Oxford University press.
- Scerri, E. (2012). What is an element? What is the periodic table? And what does quantum mechanics contribute to the question? *Foundations of Chemistry*, 14(1), 69-81.
- Tobin, E. (2013). Chemical Laws, Idealization and Approximation. *Science & Education*, 22(7), 1581-1592.
- Toulmin, S. (1972). *La comprensión humana*. Madrid, España: Alianza Editorial.

Autores y autoras

CARLOS AGUDELO CARVAJAL



Ingeniero químico por la Universidad Nacional de Colombia y doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales por la Universitat Autònoma de Barcelona. Tiene amplia experiencia como profesor de química, física y matemáticas en los diferentes niveles escolares; ha investigado sobre el uso del lenguaje en la enseñanza de la química, con especial énfasis en los libros de texto. Actualmente es profesor de la Universitat de Barcelona, donde ha dirigido trabajos de final de grado e imparte la asignatura de Didáctica de la Energía, la Materia y la interacción en el grado de educación primaria.

HENRY GIOVANY CABRERA CASTILLO



Doctor en Educación con énfasis en educación en ciencias en la Universidad del Valle, magíster en Educación con énfasis en Educación en Ciencias, licenciado en Biología y Química. Profesor asistente 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, y está interesado principalmente en la formación de docentes de ciencias naturales. Miembro de la Asociación de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur, investigador del Grupo de Investigación Ciencia, Educación y Diversidad 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). E-mail: henry.g.cabrera.c@correounivalle.edu.co

MARTHA YANETH CERQUERA CUELLAR



Profesora universitaria durante quince años en los programas de formación de maestros de ciencias de la Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia. Licenciada en matemáticas y física, con especialización en evaluación educativa de la Universidad Pedagógica Nacional; máster en Educación con énfasis en enseñanza

de las ciencias de la Universidad del Valle (Cali, Colombia). Profesora en Pedagogía, Didáctica, Enseñanza de las ciencias y prácticas pedagógicas (1997-2012). Directora del Grupo de investigación en Pedagogía y prácticas pedagógicas ante Colciencias (2008-2012). Sus publicaciones y trabajos de investigación han sido particularmente en Historia de la ciencia y enseñanza de las ciencias (2006-2012), La formación de maestros de ciencias (2007, 2013), Historia de la enseñanza de las ciencias naturales (2014) e Historia de la Enseñanza de la física en Colombia (2015). Ponente en diversos congresos y simposios de carácter nacional e internacional. Profesora invitada de la Universidad General Sarmiento (Argentina), Universidad Pedagógica Gervasio Rubio (Venezuela), Universidad del Cauca y de la Universidad Simón Bolívar (Colombia). Actualmente se desempeña como estudiante del Doctorado en Educación en la línea de historia de la pedagogía, la cultura y la ciencia de la Universidad del Valle, Cali, Colombia.

LUIGI CUÉLLAR FERNÁNDEZ



Profesor de química –Universidad Distrital–, magíster en Enseñanza de la Química –Universidad Pedagógica Nacional– en Colombia y doctor en Ciencias de la Educación de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Actualmente es académico e investigador de la Universidad Católica de la Santísima Concepción y director del Proyecto Fondecyt de Iniciación 11150509 “La formación del profesorado de ciencias en ejercicio, orientada en el desarrollo profesional docente y las comunidades de aprendizaje, y su aporte a la calidad de las competencias científicas escolares” (2015-2018). Autor de publicaciones relacionadas con sus investigaciones en el campo de la historia de la ciencia y la formación del profesorado. Hace parte del Laboratorio GRECIA y del grupo de investigación GREECE (U. Distrital-Colombia), y de la Red Latinoamericana de Investigadores/as en Didáctica de las Ciencias (REDLAD).

EDWIN GERMAN GARCÍA ARTEAGA



Profesor titular de la Universidad del Valle en Cali, Colombia. Licenciado en física, con maestría en enseñanza de la física de la Universidad Pedagógica Nacional, máster en Didáctica de las Matemáticas y las Ciencias Experimentales y doctor por la Universidad Autónoma de Barcelona. Profesor de didáctica de las ciencias e historia y filosofía de las ciencias en la universidad del Valle. Director del grupo de investigación Ciencia, Educación y Diversidad en la

Universidad del Valle (Cali). Sus publicaciones han sido fundamentalmente en enseñanza de la física y la didáctica de las ciencias experimentales, particularmente en historia, filosofía y enseñanza de las ciencias (2011), Filosofía de las prácticas experimentales y la enseñanza de las ciencias (2010), Historia de las ciencias en textos para la enseñanza (2009), Construcción de conocimiento en torno a las ciencias naturales. (2005) y Diversidad cultural y Enseñanza de las Ciencias (2016) son algunas de ellas. Actualmente se desempeña como profesor del área Educación en Ciencias de la Universidad del Valle, coordinador del programa de maestría con énfasis en enseñanza de las ciencias, director de proyectos de investigación en la línea de los enfoques socioculturales en la enseñanza de las ciencias; algunos de estos proyecto son “las practicas experimentales en la formación de docentes de ciencias” (Colombia) “relaciones entre el conocimiento científico y la educación ambiental” con la UFRJ (Brasil) y “la historia y filosofía de la ciencia en la enseñanza de las ciencias” (España).

CRISTIÁN GERMÁN GARRIDO DÍAZ



Licenciado en química y químico de la Universidad de Chile. Durante el año 2013 decide ingresar a la Pontificia Universidad Católica de Chile a cursar pedagogía en química culminando sus estudios exitosamente, se desempeña como profesor de asignatura en el colegio presidente José Joaquín Prieto en la comuna de La Pintana y colabora en investigaciones con la Dra. Carol Joglear Campos.

OLGA LUCÍA GODOY MORALES



Es profesora de física de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, vinculada al Proyecto Curricular de Tecnología en Topografía (Bogotá-Colombia). Obtuvo el grado de física en la Universidad Nacional de Colombia. Es magíster en Educación de la Pontificia Universidad Javeriana. Actualmente es estudiante del Doctorado Interinstitucional en Educación (DIE) sede Universidad Francisco José de Caldas. Adscrita al Énfasis de Enseñanza de las Ciencias trabaja en la línea de investigación Relaciones entre la Historia y la Filosofía de las Ciencias y la Didáctica de las Ciencias.

LEONARDO GONZÁLEZ GALLI



Dr. en Ciencias Biológicas y profesor de enseñanza media y superior en biología por la Universidad de Buenos Aires. Realizó su tesis doctoral sobre obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural. Actualmente se desempeña como investigador asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (Conicet) y como profesor adjunto en el Profesorado de Biología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Es parte del Grupo de Didáctica de la Biología (CeFIEC, FCEN, UBA) dirigido por la Dra. Elsa Meinardi. También dicta clases en la Escuela Argentina de Naturalistas (perteneciente a la ONG ambientalista Aves Argentinas / Asociación Ornitológica del Plata), institución de la que fue director durante el período 2011-2015. Su actual línea de investigación se centra en los problemas para el aprendizaje y la enseñanza de los modelos de la biología evolutiva, tema sobre el que ha publicado numerosos artículos en revistas especializadas y capítulos de libros, ha dictado conferencias y cursos de formación docente.

GILBERTO MANUEL HERNÁNDEZ CIFUENTES



Licenciado en educación básica con énfasis en ciencias naturales y educación ambiental de la Universidad del Valle. Realizó trabajos de investigación en la identificación de elementos para la enseñanza del concepto homeostasis presentes desde el estudio de su desarrollo histórico. Actualmente es docente de ciencias naturales y educación ambiental en la Institución Educativa Juan José Rondón Sede Enrique Olaya Herrera en El Distrito de Buenaventura.

CAROL JOGLAR CAMPOS



Doctora en Ciencias de la Educación por la PUC de Chile. Magíster en Ciencias de la educación por la PUC do Rio Grande do Sul, Brasil. Magíster en Educación en Ciencias y Matemática por la PUC de Chile. Licenciada en Ciencias Biológicas por la Universidad Estadual de Maringá, Brasil, se desempeñó 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. Directora del Proyecto Fondecyt 11150873 “Las creencias del profesorado acerca de la elaboración de preguntas en la interacción en las clases y el uso que se les da para el desarrollo del pensamiento científico en el estudiantado”. Actualmente es profesora en la Universidad de Santiago de Chile y la Universidad de Chile. E-mail: carol.joglar@usach.cl

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. Actualmente es director de los proyectos Fondecyt 1150505, Redes 150107 y AKA-03. E-mail: mariorq@gmail.com

NÚRIA SOLSONA PAIRÓ



Química, máster en Didáctica de las Ciencias Experimentales y Doctora en Ciencias de la Educación. 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. Aprender a cuidar y a cuidarnos, Los saberes científicos de las mujeres, Análisis comparativo de intervenciones formativas sobre el cambio químico, Diálogos con recetas alquímicas, Una educación química que promueva el interés de chicas y chicos, Marie Curie y algunas categorías de análisis de las biografías científicas y la historia de la alquimia, textos y prácticas.

La historia de las ciencias presenta luchas, denuncias, disputas y controversias. No está exenta de errores que generaron verdades, de evidencias polémicas, de marcos teóricos que se reconfiguran constantemente, de esperanzas y de frustraciones. Se constituye como una sistematización siempre inacabada, interesante e incompleta de saberes valiosos y diversos; un continuo ir y venir de la certeza a la incertidumbre y viceversa, estableciéndose como contenido y continente del complejo engranaje del tejido social y de las culturas. Por esto es fundamental que las clases de ciencias se transformen en verdaderos foros de discusión, que permitan reconocer que la ciencia se vincula directamente con 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, un diálogo de diversos saberes científicos que nos son tan comunes, el valor de la historia y la filosofía de la ciencia en la investigación didáctica, la formación de profesores y la reconfiguración de la ciencia en la escuela y del aprendizaje. Estas son bases fundamentales, nos parece, de cualquier reforma educativa en nuestras geografías oprimidas por legados indiferentes a la comprensión y afectividad por el conocimiento científico y de carácter anacrónico, autoritario y ahistórico. Esto último se mantiene como un tema pendiente en la educación científica latinoamericana; incorporarlo en la formación docente y en la enseñanza es nuestra tarea ¡impostergable! (MQ)



ISBN: 978-956-09033-0-3

