



Universidad Autónoma de Madrid

Facultad de Formación de Profesorado y Educación

Departamento de Didácticas Específicas

**La historia de la química en el currículo y los libros de texto
de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato (LOE).**

Un estudio desde la didáctica y la historia de la ciencia

Programa de Doctorado en Educación

Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales

Memoria para optar al grado de Doctor presentada por:

Luis Moreno Martínez

Bajo la dirección de:

Dra. M. Araceli Calvo Pascual

Madrid, 2017

A mis abuelos,
Concha y Ángel,

in memoriam.

Por ser su amor, recuerdo y humildad,
combustible inagotable, eterno comburente
ypreciado magisterio de este viaje.

De todos mis viajes.

En su versión impresa, esta tesis doctoral lleva como imagen de cubierta la pintura *Portrait d'Antoine-Laurent Lavoisier et de sa femme*, obra de Jacques-Louis David (1788), expuesta en el Metropolitan Museum of Art de Nueva York.

Índice

Introducción	17
I. Justificación de la investigación	17
II. Estructura de la tesis doctoral	20
Marco teórico	22
Capítulo 1. La historia de la ciencia en el marco educativo. Una mirada conjunta desde la historia y la didáctica de las ciencias para la educación química	22
1.1 Introducción	23
1.2 Potencialidades y limitaciones de la historia de la ciencia en la enseñanza de las ciencias	27
1.3 Características de una “buena historia de la ciencia” para la educación científica	52
1.4 Historia y enseñanza de la química. Perspectivas y estudios de interés	60
Capítulo 2. La historia de la química en el marco LOE. Una mirada interdisciplinar al currículo de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato	102
2.1 Introducción	103
2.2 La historia de la química en el currículo LOE de ESO	108
2.3 La historia de la química en el currículo LOE de Bachillerato	122
2.4 La historia de la química en el currículo LOE de Física y Química de ESO y Bachillerato de la Comunidad de Madrid	137

Estudio empírico	141
Capítulo 3. Marco metodológico	141
3.1 Objetivos y preguntas de investigación	142
3.2 Hipótesis	146
3.3 Instrumento metodológico para la revisión del currículo	152
3.4 Instrumento metodológico para el análisis de los libros de texto	156
3.4.a Diseño del cuestionario	164
3.4.b Muestra analizada	170
Capítulo 4. Resultados y discusión	172
4.1 La historia de la química en el currículo LOE de ESO y Bachillerato	174
4.1.a (P1) ¿Qué aprendizajes curriculares sobre la historia de la química aparecen recogidos en el currículo de las materias de Física y Química de ESO y Bachillerato?	175
4.1.b (P2) ¿Existen aprendizajes curriculares sobre historia de la química en el resto de materias de ESO y Bachillerato?	181
4.1.c (P4) ¿Qué utilidades didácticas otorga el currículo de ESO y Bachillerato a la historia de la química en las materias de Física y Química?	185
4.1.d (P5) ¿Existen utilidades didácticas relacionadas con la historia de la química en el currículo del resto de materias de ESO y Bachillerato?	189

4.2 La historia de la química en los libros de texto de ESO y Bachillerato	194
4.2.a (P3) ¿Presentan los aprendizajes sobre historia de la química recogidos en los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato diferencias significativas con los trabajos académicos en historia de la ciencia?	195
4.2.b (P6) ¿Qué utilidades didácticas específicas otorgan los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato a la historia de la química?	210
4.2.c (P7) ¿Qué papel general desempeña la historia de la química en los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato?	214
Capítulo 5. Conclusiones y retos	220
5.1 Conclusiones	221
5.2 Comentario final	242
Referencias bibliográficas	251
Estudios	251
Legislación educativa revisada	267
Libros de texto analizados	270
Anexo	273
Colección de cuestiones elaboradas en el primer documento para el análisis de libros de texto	273

Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Modelo de ficha de registro de referencias históricas en el currículo	154
<i>Figura 2.</i> Modelo de ficha de registro de datos cuantitativos sobre el currículo	155
<i>Figura 3.</i> Modelo de ficha de recogida de información general e información de las unidades didácticas de química en los libros de texto	159
<i>Figura 4.</i> Cuestionario para el análisis de los libros de texto	160
<i>Figura 5.</i> Modelo de ficha de registro de las referencias a la historia de la química en los libros de texto	162

Índice de tablas

<i>Tabla 1.</i> Principales concepciones distorsionadas sobre ciencia en la enseñanza	41
<i>Tabla 2.</i> Principales potencialidades pedagógicas de la historia de la ciencia	51
<i>Tabla 3.</i> Cuestiones y estudios de interés en historia de la química	73
<i>Tabla 4.</i> Las cinco revoluciones químicas	77
<i>Tabla 5.</i> Objetivos específicos y preguntas de investigación	145
<i>Tabla 6.</i> Hipótesis específicas vinculadas al primer objetivo de investigación	148
<i>Tabla 7.</i> Hipótesis específicas vinculadas al segundo objetivo de investigación	149
<i>Tabla 8.</i> Hipótesis específicas vinculadas al tercer objetivo de investigación	150
<i>Tabla 9.</i> Hipótesis específicas vinculadas al cuarto objetivo de investigación	151
<i>Tabla 10.</i> Esquema general del diseño metodológico del estudio empírico	163
<i>Tabla 11.</i> Aprendizajes curriculares sobre historia de la química en las materias de Física y Química de ESO y Bachillerato	176
<i>Tabla 12.</i> Elementos curriculares relacionados con la historia de la química	178
<i>Tabla 13.</i> Distribución de las temáticas de los aprendizajes sobre historia de la química en las materias de Física y Química por curso y etapa	180

<i>Tabla 14.</i> Aprendizajes curriculares sobre historia de la química en el resto de materias de ESO	182
<i>Tabla 15.</i> Aprendizajes curriculares sobre historia de la química en el resto de materias de Bachillerato	183
<i>Tabla 16.</i> Utilidades didácticas curriculares de la historia de la química en las materias de Física y Química de ESO y Bachillerato	186
<i>Tabla 17.</i> Elementos competenciales vinculados a la historia de la química en ESO	188
<i>Tabla 18.</i> Utilidades didácticas curriculares de la historia de la química en el resto de materias de ESO	190
<i>Tabla 19.</i> Utilidades didácticas curriculares de la historia de la química en el resto de materias científico-tecnológicas de Bachillerato	191
<i>Tabla 20.</i> Utilidades didácticas curriculares de la historia de la química en las materias humanístico-sociales de Bachillerato	193
<i>Tabla 21.</i> La historia de la química en las actividades de las unidades didácticas del área de química	212
<i>Tabla 22.</i> La historia de la química en la introducción de las unidades didácticas del área de química	215
<i>Tabla 23.</i> La historia de la química en el cierre de las unidades didácticas del área de química	216
<i>Tabla 24.</i> La historia de la química en las imágenes de las unidades didácticas del área de química	216

Agradecimientos

Este viaje por la didáctica de la química inició oficialmente su andadura académica en el marco del Programa de Doctorado en Educación de la Universidad Autónoma de Madrid en octubre de 2014. Aquel primer año de doctorado transcurrió entre tizas y modelos de bolas y varillas, simultaneando la labor de investigación, con la docencia en ESO y Bachillerato en el Colegio Tres Olivos de Madrid, centro de inclusión preferente de estudiantes con discapacidad auditiva. A todo el equipo docente, al equipo directivo y de logopedia del centro, mi agradecimiento. A Luis, que siempre me animó a investigar y de quien tanto aprendí, mi admiración y aprecio. A mis jóvenes estudiantes, desde las clases de Ciencias de la Naturaleza de primer curso de ESO a las de Química de segundo curso de Bachillerato, todo mi cariño. Gracias por dejarme aprender con vosotros en cada clase. Gracias por brindarme la oportunidad de vivir y disfrutar de la docencia.

El curso siguiente, esta tesis doctoral compartió tiempo y aprendizajes con los estudios de Máster Universitario en Historia de la Ciencia y Comunicación Científica de las Universidades de Alicante, Miguel Hernández y de Valencia. Dichos estudios no solo fueron una excelente experiencia formativa en el ámbito académico

de la historia de la ciencia, sino que también enriquecieron profundamente mi investigación en didáctica de las ciencias y, sin duda, potenciaron mi interés en crear marcos de diálogo y contacto fértil entre la historia de la ciencia escolar y los estudios académicos en historia de la ciencia; algo a la que, modesta y humildemente, ha pretendido contribuir esta tesis doctoral. A todo el profesorado del Máster, mi más sincera y profunda gratitud por sus enseñanzas, su tiempo y, también, por su interés en la educación científica y en esta investigación.

El tercer y último año de doctorado llegó en el curso 2016-2017. Durante este curso pude disfrutar de una Ayuda OPE-UAM de Posgrado que hizo de la Biblioteca de Educación mi segunda morada y de la Facultad de Formación de Profesorado y Educación, mi día a día. Además de una experiencia formativa de inestimable valor y del respaldo económico, dicho ayuda me brindó la oportunidad de hacer buenos amigos y de compartir vivencias, inquietudes y tardes de momentos fantásticos con mis compañeros becarios y con el personal bibliotecario. A todos y cada uno de ellos y en especial, a mis compañeros de tarde (Vanessa, Elena, Laura, Fany, Carlos, Carmen, Esther, Chema, Miguel, Leire, Clarita) y a Ana, que tantas facilidades me dio, mi agradecimiento por su

apoyo, su confianza y sus enseñanzas, que atesoraré con gran cariño.

Asimismo, el tercer año de doctorado fue también el primer año de Doctorado en Estudios Históricos y Sociales sobre Ciencia, Medicina y Comunicación Científica en el Instituto de Historia de la Medicina y de la Ciencia “López Piñero”. A mis directores de tesis en historia de la ciencia, José Ramón Bertomeu y Pep Simon, toda mi gratitud por sus valiosas enseñanzas y su inestimable apoyo, no solo en mi formación en historia de la ciencia, sino también para con esta tesis doctoral, así como por su interés por tender puentes entre historia y didáctica de las ciencias.

Quisiera expresar también mi gratitud a los responsables y asistentes del Programa de Doctorado en Educación de la UAM por su ayuda ante las múltiples consultas; así como al profesorado responsable de las distintas actividades formativas realizadas durante esta etapa educativa. Gracias a todos los profesores y compañeros doctorandos del Grupo de Investigación Cambio Educativo para la Justicia Social (GICE-UAM), dirigido por el profesor Javier Murillo; por brindarme la oportunidad de aprender de y con ellos; así como al Grupo-Línea de Investigación Didáctica de las Ciencias Experimentales y las Matemáticas (DICEMA-

UAM), dirigido por el profesor Santiago Atrio. Gracias por vuestros consejos, siempre valiosos para mejorar esta tesis, así como por la grata compañía y el interés siempre mostrado en este trabajo.

Durante la realización de esta tesis doctoral he tenido el placer de contar con el apoyo del Grupo de Didáctica e Historia de la Química y la Física de las Reales Sociedades Españolas de Física (RSEF) y de Química (RSEQ) a través de los profesores Manuela Martín (UCM) y Gabriel Pinto (UPM). Su gran labor supervisando algunos materiales de la tesis, su destacado interés por esta tesis doctoral desde su momento inicial, su siempre afables y alentadoras palabras de ánimo y su confianza invitándome a participar en actividades y colaboraciones para la difusión de mis trabajos han sido elementos extraordinariamente valiosos para esta tesis y para este doctorando.

Asimismo, quisiera agradecer al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y al investigador Bernardo Herradón, las facilidades para acceder a bibliografía de interés durante el primer estadio de esta tesis; así como su invitación a participar como docente en las ediciones III, IV y V del curso Los Avances de la Química y su Impacto en la Sociedad y en otras muchas actividades de divulgación científica.

Mi agradecimiento a Aureli Camaño y Fina Guitart por su amable invitación a participar en el número temático que la revista *Educació Química* (EduQ) dedicó al enlace químico en 2016 y a las jornadas en torno a esta cuestión organizadas en Barcelona, de gran valor para la difusión de parte de los resultados de este trabajo; así como a la Universidad de La Rioja, por su invitación a uno de sus Cursos de Verano 2016, que permitió presentar parte de los resultados de esta investigación.

Gracias a Reyes Jiménez y al Grupo de Investigación en Química de coordinación de compuestos con enlace metal-metal de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Complutense de Madrid, por sus enseñanzas y por apoyarme en todos mis proyectos, incluyendo esta tesis doctoral que vieron crecer. Gracias a Carmen Cámara, por su confianza, su cariño y su ayuda.

También quisiera expresar mi agradecimiento al equipo de *Principia Magazine* y en especial, a Quique y Cris, por brindarme la oportunidad de tomar parte en su bello y necesario proyecto; así como por compartir conmigo la idea de que investigar es compartir; también con la sociedad.

No podría olvidar expresar mi gratitud hacia todos los evaluadores anónimos tanto del Plan de Investigación inicial como

de los distintos trabajos publicados durante el transcurso de esta tesis doctoral. Su trabajo de revisión y sus comentarios, sin duda, ha enriquecido este trabajo.

Por supuesto, estos años de fascinante y enriquecedora formación en didáctica de las ciencias hubiesen sido inviables sin el apoyo, la guía y el trabajo de mi directora de tesis doctoral, la profesora M. Araceli Calvo Pascual. A ella mi más sincera gratitud, por sus innumerables enseñanzas, su aliento en los momentos difíciles, su apoyo constante y el valiosísimo tiempo que me ha regalado. Aprender con ella y de ella, en lo académico y lo humano, ha sido, sin lugar a dudas, una de las experiencias más enriquecedoras de este viaje que, deseo, sea solo el primero de muchos. Gracias por todo.

Durante este viaje no he estado solo. Han sido muchas las personas que de una u otra manera me han acompañado. Personas a las que debo mi agradecimiento y a las que tengo mucho tiempo que devolver. A toda mi familia y en especial, a mis padres, Luis y Consuelo, y a mi hermana, Miriam, gracias por vuestro cariño y vuestro apoyo constante durante estos años de formación. Gracias por animarme siempre a trabajar por lo que me apasiona. Gracias por estar siempre a mi lado. Juntos.

A todos mis amigos, gracias por hacer de este viaje una parte de vosotros. Por vuestro interés constante en este proyecto y vuestros ánimos tan valiosos. A Álvaro, por regalarme una preciosa amistad y por entenderme siempre, aun cuando a mí me costaba hacerlo. A Patri, lo más bonito de la licenciatura, por creer en mí, incluso en mis horas más agnósticas. A Irene, por llenar Madrid de noches de música y sueños compartidos. A Héctor, por enseñarme el significado de los cuadrantes. A Enrique, por cuidar mi maleta y llenarla de confianzas y momentos juntos. A Berni y a Ángel, por soportarme, acompañarme y apoyarme. Por regalarme historias que siempre atesoraré en mi corazón. A Luis, por animarme siempre, pese a las horas que nos debemos. A Stefani por hacer Londres inmortal en mí. A Jey, por serlo. Por todo.

A todos mis compañeros docentes, químicos e investigadores en educación y en historia de la ciencia. Porque, sin duda, he aprendido de y con vosotros. Sabréis leerlos en estas líneas.

No me es posible finalizar estas líneas sin recordar a todos aquellos maestros, maestras, profesoras y profesores que desde la Educación Infantil a la Universidad me han acompañado en esa oportunidad de (des)aprendizaje constante que llamamos vida. A todos ellos mi recuerdo y mi gratitud. En especial, a mis profesores

del IES El Espinillo de Madrid y a Carmela, que hizo de la química en las aulas -en sus múltiples y apasionantes facetas- mi pasado, presente y futuro.

Y gracias a ti, querido lector, querida lectora. Ante ti tienes un trabajo de investigación que espero que hagas tuyo. A pie de aula, desde la investigación... Espero que esta tesis doctoral te sea útil. Que la mejores, que la amplíes, que la mates... Que cobre vida en tus manos. Gracias por tu trabajo.

Feliz viaje.

“Si científicos y humanistas diversos han intentado desde perspectivas diferentes explorar los límites de nuestro conocimiento de la naturaleza, los químicos no deben quedarse atrás. Ha llegado el momento de avanzar con paso firme hacia una reflexión humanística sobre la química”.

Agustín Nieto Galán (2004)

INTRODUCCIÓN

I. Justificación de la tesis doctoral

En los últimos años varias voces, entre ellas numerosos autores citados en las próximas páginas, han apuntado la imperiosa necesidad de crear marcos de diálogo y encuentro entre historia y didáctica de las ciencias. Dichos marcos se harían fundamentales a tenor de las narrativas antagónicas y netamente diferenciadas entre los trabajos procedentes de la historia de la ciencia como área académica de investigación y estudio, y la historia de la ciencia en contextos educativos y divulgativos.

Esta tesis doctoral pretende contribuir en esa línea de encuentro y aproximación entre historia y enseñanza de las ciencias, en particular, entre historia y enseñanza de la química, planteando una triple pregunta: ¿Qué historia de la química está presente en el currículo y en los libros de texto de ESO y Bachillerato del marco LOE, cómo y para qué?

Este interrogante revela las dos principales funciones que la tesis doctoral ha pretendido. En primer lugar, una función descriptiva (qué), que ha permitido ofrecer una panorámica general

sobre la historia de la química en el plano normativo LOE. En segundo lugar, una función analítica (cómo, para qué), que ha obligado a atender no solo a los trabajos publicados en el ámbito de la didáctica de las ciencias sobre las potencialidades didácticas de la historia de la ciencia (para qué); sino también a construir un marco de referencia basado en los estudios históricos académicos sobre ciencia, en particular, sobre química (cómo).

Currículo y libros de texto se han erigido como los dos ejes vertebradores de la investigación, a tenor de su relevancia en el ámbito educativo. Respecto al primero, dada la incertidumbre actual en torno a la vigencia de la LOMCE, se decidió acotar el estudio realizado al marco LOE. Se trata de un periodo amplio y a la vez cercano (2007-2016 para ESO y Bachillerato) que nos ofrece información que puede ser de interés actual para pensar críticamente la historia de la química escolar en el currículo.

Respecto a los libros de texto, cabe destacar que una primera lectura de los mismos muestra cómo estos recursos educativos sí incluyen novedades científicas de los últimos años previos a su publicación. En cambio, ¿persisten en ellos ideas en torno a la historia de la química ya abandonadas e incluso rechazadas por historiadores de la ciencia en los últimos años o décadas? A esta

pregunta, entre otras muchas, ha pretendido responder esta tesis doctoral, atendiendo tanto a los aprendizajes sobre historia de la química, como a sus utilidades didácticas en currículo y libros de texto.

Esta tesis doctoral ha dirigido la atención a la historia de la química, por lo que conviene señalar qué se ha entendido como tal. La historia de la química no se ha entendido como una sucesión de fechas, personajes clave o experimentos cruciales que de forma directa condujeron a la disciplina científica que hoy llamamos química. En la línea defendida por los historiadores de la ciencia desde las últimas décadas, la historia de la ciencia no ha de entenderse como el sumatorio de las historias de las distintas ciencias disciplinares.

La historia de la ciencia, consolidada como disciplina académica en las últimas décadas, ha ampliado sus aproximaciones metodológicas y sus objetos de estudio, dirigiendo una mirada crítica a esas historias disciplinares, desmontando mitos, planteando nuevas cuestiones y renovando enfoques y preguntas de interés. La mirada a la historia de la química que esta tesis doctoral pretende se ha considerado desde este último enfoque, atendiendo a trabajos que van más allá de la genealogía y la memoria de la química;

ofreciendo un marco renovado de reflexión crítica sobre la historia de la química para la didáctica de las ciencias experimentales.

II. Estructura de la tesis doctoral

Esta tesis doctoral consta de dos partes generales y cinco capítulos: marco teórico, conformado por los capítulos 1 y 2; y estudio empírico, constituido por los capítulos 3, 4 y 5. El capítulo 1 recoge los principales estudios y perspectivas que desde la didáctica y la historia de las ciencias se han considerado de interés para la presente investigación. El capítulo 2 recoge la revisión del currículo LOE de ESO y Bachillerato realizada, señalando los elementos curriculares vinculados a la historia de la química en las distintas materias.

El estudio empírico se inicia en el capítulo 3, en el cual se recogen todos aquellos puntos fundamentales del marco metodológico de esta tesis doctoral. Los resultados y su discusión desde la óptica esbozada en el marco teórico se recopilan en el capítulo 4, en el que los distintos epígrafes corresponden a las preguntas de investigación del estudio empírico presentadas en el capítulo 3. Finalmente, el capítulo 5 recoge las conclusiones de la investigación, así como las limitaciones de la misma y una

propuesta de futuras líneas de actuación de interés. Estos capítulos, junto con las referencias bibliográficas, divididas en estudios, legislación y libros de texto analizados, así como el material anexo, constituyen la memoria de tesis doctoral que aquí se presenta.

Finalmente, cabe destacar que la misma se ha redactado desde una relación bidireccional y complementaria entre marco teórico y estudio empírico. Así, el marco teórico ha presentado los principales estudios históricos sobre química necesarios para la posterior discusión de resultados del estudio empírico. Sin embargo, dada la naturaleza del instrumento metodológico diseñado, el análisis de los libros de texto ha permitido obtener conclusiones en torno a algún aspecto a priori no esbozado en el marco teórico; por lo que la discusión de algún resultado del estudio empírico puede incluir algún otro estudio considerado de interés para tal fin.

Además, cabe destacar que la revisión del currículo está presente tanto en el marco teórico, como en el estudio empírico. Ello es debido al doble papel del currículo: por un lado, marco de referencia educativo (de ahí su incorporación al marco teórico) y, por otro, objeto de estudio por parte de la investigación educativa (por ello, presente en el estudio empírico).

MARCO TEÓRICO

Capítulo 1. La historia de la ciencia en el marco educativo. Una mirada conjunta desde la historia y la didáctica de las ciencias para la educación química

“If the importance of history of chemistry and philosophy of science for chemistry education was recognized as early as the first decades of the twentieth century, why are we still arguing for its inclusion in textbooks and the curricula? What is even more difficult to explain is why our present-day chemistry textbooks have neglected the historical approach? Not easy answer is available for this question”.

Mansoor Niaz (2016, p. 7)

Estructura del capítulo:

1.1 Introducción

1.2 Potencialidades y limitaciones de la historia de la ciencia en la enseñanza de las ciencias

1.3 Características de una “buena historia de la ciencia” para la educación científica

1.4 Historia y enseñanza de la química: Perspectivas y estudios de interés

1.1 Introducción

El estudio del papel, la utilidad y el tratamiento de la historia de la ciencia en materiales y contextos educativos, tales como el currículo, los libros de texto, la práctica docente o la formación del profesorado de ciencias, constituye una línea de investigación ampliamente consolidada en el área de la didáctica de las ciencias experimentales. Numerosos estudios han abordado las potencialidades y las limitaciones de la historia de la ciencia para la enseñanza de las ciencias, habiéndose alcanzado un amplio consenso en torno a qué características ha de presentar la historia de la ciencia en el contexto de la educación científica.

Asimismo, la enseñanza de las ciencias ha sido objeto de estudio por parte de los historiadores de la ciencia en las últimas décadas, erigiéndose como un área por explorar. Dicho interés por la enseñanza incluye el estudio del papel y la forma en que la historia de la ciencia es presentada en el ámbito educativo, confrontando la visión de la historia de la ciencia subyacente en dicho ámbito con los resultados de la investigación académica en historia de la ciencia.

Como se verá más adelante, desde la historia de la ciencia se ha apuntado que cuando dicha confrontación se lleva a cabo, se revela una importante desconexión entre enseñanza e historia de las ciencias. Así, la historia de la ciencia que puede encontrarse en educación sería significativamente distinta a la que es producida por el trabajo de los historiadores de la ciencia. Diferencias que afectan tanto a nivel de contenidos, como de enfoques. De este modo, cuestiones ampliamente consolidadas y consideradas superadas en el ámbito académico de los estudios históricos y sociales sobre ciencia seguirían estando ausentes parcial o totalmente en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.

Conscientes de esta problemática, diversos trabajos procedentes tanto de la didáctica de las ciencias experimentales como de la

historia de la ciencia, que se recogerán en los próximos epígrafes, han abordado críticamente numerosas cuestiones en torno a las relaciones entre historia y enseñanza de las ciencias en los últimos años; apuntando la imperiosa necesidad de crear marcos de diálogo y colaboración entre ambas. Sus trabajos han contribuido a repensar la utilidad didáctica y el tratamiento que se otorga a la historia de la ciencia en las aulas desde una óptica analítica y renovada.

En esta línea, el presente capítulo hace un recorrido por una selección de trabajos publicados en este terreno, elaborando un marco teórico que va más allá de las investigaciones didácticas sobre historia de la ciencia. Conocer cómo y para qué está presente la historia de la ciencia en el marco educativo implica conocer no solo qué papel pedagógico desempeña la historia de la ciencia desde la educación. También exige conocer cómo es vista la historia de la ciencia escolar desde la propia historia de la ciencia académica. Por ello, se ha considerado fundamental atender a los trabajos publicados desde los estudios históricos sobre ciencia en torno a la historia de la ciencia en contextos y materiales educativos, a fin de generar una mirada conjunta para el estudio empírico que la presente tesis doctoral pretende.

El currículo y los libros de textos constituyen objetos de estudio de gran valor normativo a fin de analizar cómo y para qué está presente la historia de la ciencia en educación. Dicho análisis, desde el marco teórico que se recoge en el presente capítulo, puede constituir una herramienta de interés a fin de reflexionar críticamente sobre las relaciones entre historia y didáctica de las ciencias. Esta mirada conjunta se hace fundamental a fin de avanzar en el acercamiento entre investigación didáctica e investigación histórica sobre ciencia y, en particular, sobre química, enriqueciendo así la investigación educativa. En esta línea, las búsquedas bibliográficas realizadas han permitido recuperar un acervo de estudios sobre la historia de la ciencia en y para la educación científica realizados en diferentes contextos geográficos (en su mayoría, Estados Unidos, Latinoamérica y España; así como estudios realizados en el marco internacional) y cronológicos (principalmente, desde las últimas décadas del siglo XX, aunque con referencias a algunos antecedentes históricos significativos).

Si bien en los primeros epígrafes se atenderá a la historia de la ciencia y la educación científica, en los sucesivos se focalizará la atención en los estudios en torno a historia y enseñanza de la química. Todo ello desde la concepción de la investigación

educativa como oportunidad para mejorar la educación y, en este caso, la enseñanza y el aprendizaje de la química, desde una visión que integre sus dimensiones humanísticas y sociales.

Para ello, este capítulo aborda inicialmente diversos trabajos sobre historia de la ciencia y educación científica, atendiendo a los principales argumentos a favor de la incorporación de la historia en la enseñanza de las ciencias y a sus limitaciones, para después presentar las perspectivas actuales en investigación en torno a historia de las ciencias en y para la educación científica. Finalmente, se centra la atención en el caso de la química, atendiendo a algunos de los principales trabajos publicados en los últimos años sobre la historia de la química y su papel en la enseñanza de esta ciencia, en particular, en el currículo y en los libros de texto de Educación Secundaria.

1.2 Potencialidades y limitaciones de la historia de la ciencia en la enseñanza de las ciencias

A lo largo del siglo XXI han sido numerosos los trabajos que han explorado las relaciones entre historia y enseñanza de las ciencias; contribuyendo a su consolidación en el marco de la investigación didáctica (Matthews, 2014). Estos trabajos hunden sus

raíces a su vez en una pléyade de estudios que en la segunda mitad del siglo XX abordaron distintos aspectos relacionados con el papel que podía desempeñar la historia de la ciencia en contextos y materiales educativos. Si bien se ha centrado la atención en la segunda mitad del siglo XX y, especialmente, en el contexto institucionalizado de la didáctica de las ciencias experimentales como disciplina académica, las relaciones entre historia y enseñanza de las ciencias no son exclusivas de este periodo, ni de dicho contexto.

Así, en el primer tercio del siglo XX, los usos pedagógicos de la historia de la ciencia constituyeron una cuestión central en la renovación pedagógica que experimentó la enseñanza de las ciencias en España, en términos metodológicos y de selección de los saberes científicos escolares, entre otros (Bertomeu Sánchez et al., 2017; López-Ocón, 2014; Moreno Martínez y Bertomeu Sánchez, 2017; M. Martín Sánchez, Pinto Cañón, y M. T. Martín Sánchez, 2017). Asimismo, a principios del siglo XX, varios filósofos positivistas y científicos enfatizaron la importancia de la historia y la filosofía de la ciencia, entre ellos, el químico-físico Wilhelm Ostwald (Niaz, 2016).

No obstante, es posible encontrar la historia de la ciencia en prácticas y materiales destinados a la enseñanza, con anterioridad al siglo XX. Por ejemplo, para el caso de la química es especialmente pertinente recuperar aquí las ideas de Antoine Laurent Lavoisier, muchas veces considerado el fundador de la química moderna, sobre la enseñanza de esta ciencia. En el siglo XVIII, para Lavoisier era necesario prescindir de la historia a la hora de enseñar química, para quien “el éxito de su nueva química se fundaba en el olvido del pasado” (Nieto Galán, 2014, p. 66). Esto pone de manifiesto cómo la historicidad a la hora de presentar los saberes científicos que han de enseñarse y aprenderse no es en absoluto una cuestión contemporánea, estando presente incluso en los “orígenes” de la llamada química científica; si bien los enfoques y perspectivas de las últimas décadas han proporcionado un marco de reflexión diferenciado y renovado.

Desde el marco contemporáneo internacional, tuvieron un especial protagonismo los trabajos del químico James Bryant Conant, impulsor de los denominados *Harvard Case Histories in Experimental Science* (Conant, 1957). Entre los trabajos recogidos en esta obra encontramos estudios sobre Boyle y sus experimentos neumáticos, los trabajos de Pasteur, la revolución química y la

teoría del flogisto o el desarrollo histórico de la teoría atómico-molecular y de conceptos científicos fundamentales, tales como la temperatura, el calor o la carga eléctrica.

Dirigidos originalmente a estudiantes de humanidades y ciencias sociales, “los cuales requieren de una comprensión de la ciencia que les ayudará a relacionar el desarrollo de las ciencias naturales con otros campos de la actividad humana”, los trabajos de Conant fueron posteriormente divulgados a un público más amplio “con la convicción de que un conocimiento detallado de algunos de los avances de la ciencia en distintas épocas permite una mejor comprensión del mundo actual” (Conant, 1957, p. VII).

Aunque estos trabajos contribuyeron a reforzar las relaciones entre didáctica e historia de las ciencias, algunas de sus perspectivas y análisis fueron matizados y cuestionados. En esta línea, cabe destacar el caso de los estudios de Boyle sobre el vacío, que Conant (1957) presentaba como “un ejemplo de ciencia baconiana, empírica y sin prejuicios”, mientras que Simon Schaffer y Steven Shapin, en su célebre obra *Leviatán y la bomba de aire* (1985), lo hacían como “un ejemplo de actividad científica como negociación, capacidad de convencimiento y búsqueda de consenso social, antes

que como aproximación a la realidad de la naturaleza” (García Sáenz, 2003, p. 30).

Para el caso de la química, los historiadores de la ciencia José Ramón Bertomeu Sánchez y Antonio García Belmar han apuntado que la didáctica de las ciencias fue uno de los factores que más contribuyó a la consolidación disciplinar de la historia de la química, estando didáctica e historia de la química profundamente interrelacionadas. Los autores señalaron el caso de la *American Chemical Society* y cómo sus divisiones *History of Chemistry* y *Chemical Education* compartieron la publicación *Journal of Chemical Education* como órgano de expresión. Además, algunos de los editores y colaboradores de esta revista (hoy, una de las principales revistas de investigación científica en el marco de la didáctica de la química) fueron también importantes autores en el terreno de la historia de la química, como Aaron J. Ihde (Bertomeu Sánchez y García Belmar, 2008a).

Las últimas décadas del siglo XX fueron especialmente prolíficas en el debate en torno a la historia de la ciencia y su presencia en contextos educativos, siendo Matthews (1988, 1991, 1994a, 1994b) una de las voces destacadas en este terreno. En 1988, Matthews había apuntado la existencia de una crisis intelectual y

social en la enseñanza de las ciencias, materializada en la disminución de profesores y estudiantes de ciencias, así como en la falta de alfabetización científica de los ciudadanos. En 1994, apuntó que si bien la historia, la filosofía y la sociología de las ciencias no suponían la solución a esta crisis, estas áreas podían proporcionar algunas respuestas, ya que:

Pueden humanizar las ciencias y acercarlas más a los intereses personales, éticos, culturales y políticos; pueden hacer las clases más estimulantes y reflexivas, incrementando así las capacidades del pensamiento crítico; pueden contribuir a una comprensión mayor de los contenidos científicos (...); pueden mejorar la formación del profesorado contribuyendo al desarrollo de una epistemología de la ciencia más rica y más auténtica, esto es, a un mejor conocimiento de la estructura de la ciencia y su lugar en el marco intelectual de las cosas. (Matthews, 1994a, p. 256)

En el marco español, en el que se inscribe la presente tesis doctoral, numerosos trabajos han contribuido a consolidar la historia de la ciencia en materiales y contextos educativos como línea de investigación didáctica. Un caso representativo lo encontramos en la revista de investigación y experiencias didácticas

Enseñanza de las Ciencias. Dicha publicación nació en 1983, en un contexto en el que la didáctica de las ciencias experimentales en España forjaba su autonomía disciplinar.

En su primer número, el historiador de la ciencia Víctor Navarro Brotons abordó la relación de la historia de las ciencias y la enseñanza, haciendo un recorrido histórico general desde el siglo XVI hasta 1974. En dicho año, el historiador de la ciencia Stephen G. Brush publicó en la revista *Science* un artículo provocador titulado *Should the History of Science be Rated X?*, en el que el autor señalaba que la historia de la ciencia proporciona a los jóvenes una imagen de la actividad científica y de los científicos muy distinta a la que era habitual. La potencialidad de la historia de la ciencia para que profesores y alumnos reflexionen críticamente sobre ciencia sería uno de los principales argumentos a favor de la presencia de la historia de la ciencia en la enseñanza de las ciencias según Brush (Navarro Bottons, 1983).

Desde esta publicación, podemos encontrar frecuentemente numerosos trabajos sobre historia y epistemología de las ciencias en buena parte de los números publicados. Estos y otros trabajos posteriores reflejan un amplio consenso a la hora de considerar de

interés didáctico a la historia de la ciencia en la enseñanza de las materias científicas escolares, apuntando diversos argumentos.

Merece especial mención el trabajo publicado por Michael R. Matthews en 1994, citado con anterioridad en este capítulo. En dicho trabajo, traducido al castellano por el profesor Antonio Moreno, quien fue profesor de Didáctica de las Ciencias Experimentales en la Universidad Complutense de Madrid y autor de varios trabajos sobre historia de la física, Matthews presentaba seis cuestiones que en la última década del siglo XX se erigieron como desafíos para una enseñanza de las ciencias desde una aproximación histórico-filosófica: (1) las relaciones entre ciencia y género, (2) la concepción empirista del conocimiento científico sostenida por el constructivismo, epistemología dominante en el ámbito pedagógico, (3) las cuestiones éticas subyacentes en el currículo de ciencias, (4) las relaciones entre ciencia y filosofía en el ámbito de la educación científica, (5) la idealización de la ciencia matemática en libros de texto, frente a una aproximación fenomenológica y (6) las relaciones entre racionalización y dogmatismo en la enseñanza de las ciencias, reivindicando la historia, la filosofía y la sociología de la ciencia como elementos que merecen la atención del profesorado de ciencias.

Veinte años después, en el primer *handbook* publicado sobre historia, filosofía y enseñanza de las ciencias, editado por Matthews (2014), muchas de dichas cuestiones fueron presentadas como líneas de investigación ampliamente consolidadas, todavía de interés. Así, esta obra, constituida por un total de 76 trabajos, reivindicaba la incorporación de la historia, la filosofía y la sociología de la ciencia en la formación del profesorado, la necesidad de reflexión filosófica en torno a la enseñanza de las ciencias o la importancia de establecer marcos de diálogo entre educadores, historiadores de la ciencia, psicólogos, sociólogos y filósofos de la ciencia. Entre los distintos trabajos, cabe destacar el de Niaz (2014), quien abordó el papel de la historia y la filosofía de la ciencia en los libros de texto, ofreciendo una panorámica general de los principales estudios publicados sobre el tema a nivel internacional.

A partir de la revisión de un total de 52 trabajos publicados en revistas internacionales sobre enseñanza de las ciencias entre 1969 y 2010 y atendiendo a los libros de texto publicados en Estados Unidos y otros 15 países (incluyendo España), Niaz (2014) apuntó que la mayoría de investigaciones señalaban que los libros de texto necesitaban incorporar la historia de la ciencia como estrategia que

facilite la comprensión de las dinámicas del progreso científico. Asimismo, el autor subrayó las principales temáticas sobre historia de la ciencia en los libros de texto que habían sido mayoritariamente abordadas desde la investigación. La naturaleza de la ciencia, la estructura atómica o la mecánica cuántica serían las temáticas más ampliamente analizadas por dichos estudios. Por el contrario, las teorías ácido-base, el enlace químico o la tabla periódica habrían recibido menos atención. Asimismo, el autor señaló que ante cuestiones controvertidas o que implican dificultades conceptuales, los libros de texto suelen evitarlas o bien pasar por ellas de manera superficial. Entre dichas cuestiones se encuentran la diferencia entre calor y temperatura, el papel de la teoría atómica en el desarrollo de la tabla periódica, la interpretación de Thomson y de Rutherford del experimento de la lámina de oro y las partículas alfa o cómo se llegó a postular la existencia de pares de electrones para el enlace covalente, entre otras.

A través del trabajo de Niaz (2014) es posible colegir que si bien es cierto que el estudio de la historia de la ciencia en los libros de texto es un área de investigación prolífica, no es menos cierto que todavía constituye un área con numerosas cuestiones pendientes

de abordar. Cuestiones que se inscriben en un marco de reflexión en torno a las potencialidades y las limitaciones de la historia de la ciencia en el marco educativo que conviene abordar.

Si bien han existido debates significativos en torno a las implicaciones de la historia de la ciencia en la enseñanza de las ciencias, la incorporación de una dimensión histórica en la enseñanza de las ciencias cuenta con un amplio marco de consenso desde la investigación educativa. Entre los principales argumentos se ha apuntado que la historia de la ciencia contribuye a comprender cómo los estudiantes construyen el conocimiento en su aprendizaje. A partir del estudio comparativo de las ideas previas de estudiantes universitarios sobre física, en particular, sobre cinemática y dinámica, Saltiel y Viennot (1985) señalaron la existencia de un paralelismo entre las concepciones alternativas de los estudiantes y teorías preclásicas en historia de la ciencia: “En mecánica, particularmente, los razonamientos de los estudiantes evocan a menudo periodos preclásicos de la correspondiente teoría” (Saltiel y Viennot, 1985, p. 138). Asimismo, los autores apuntaron que las concepciones alternativas observadas en los estudiantes no han de ser comparadas con un periodo concreto de la historia de la ciencia, sino más bien con una tendencia dada en diferentes contextos, ya

que “los contextos culturales son diferentes y no todas las características observadas en el razonamiento espontáneo en la actualidad se han dado en alguna etapa del desarrollo histórico de la ciencia” (Saltiel y Viennot, 1985, pp. 143-144). De este modo, la historia de la ciencia actuaría como una herramienta de interés para comprender cómo razonan científicamente los estudiantes, y mejorar la forma en que conceptos fundamentales de la ciencia son presentados en la enseñanza, contribuyendo al diseño de estrategias de enseñanza más eficaces y a un aprendizaje significativo de la ciencia.

Gagliardi y Giordan (1986) señalaron el interés de la historia de la biología para comprender las transformaciones conceptuales del siglo XVIII en torno a las relaciones entre propiedades de los organismos y sus “causas” microscópicas. De este modo, las relaciones entre el nivel macroscópico y microscópico habría resultado uno de los conceptos estructurantes de la enseñanza de la biología. Así, los autores apuntan una de las utilidades didácticas de la historia de la ciencia: una herramienta para la selección de los conocimientos científicos que estructuran y conforman la ciencia escolar; es decir, de la ciencia que el estudiante ha de aprender.

Los autores también destacaron que la historia de la ciencia no es una línea recta, señalando la importancia de superar la “idea generalizada que transmite la escuela de que todo conocimiento científico es una verdad a la que se llegó simplemente por la acumulación de experiencias exitosas” (Gagliardi y Giordan, 1986, p. 256). Los autores abogaron por una historia de la ciencia en la enseñanza que no obvie las dificultades y los obstáculos que científicos de tiempos pretéritos tuvieron que franquear, situando su actividad en los correspondientes contextos -con las herramientas intelectuales de la época, sujetas a determinados factores sociales- y evitando presentarles como “sabios geniales”.

Además, apuntaron la importancia de repensar el tipo de preguntas de tipo histórico presentes en la enseñanza de las ciencias. Para el caso de la biología, indican que preguntas como “¿Quién descubrió la fecundación?” no serían adecuadas, pues “nunca hay un solo descubridor, sino que hay contribuciones parciales, que respondieron a las preguntas planteadas en cada época” (Gagliardi y Giordan, 1986, p. 256). Para los autores, además de las potencialidades didácticas anteriores, la historia de la ciencia permite introducir en el aula la reflexión filosófica en torno a cómo se produce el conocimiento (científico) o qué peso tienen

los factores sociales en dicho proceso, fomentando una aproximación crítica a las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad.

Otra de las potencialidades didácticas de la historia de la ciencia es su papel en el diseño de un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la investigación que ayude a cuestionar las concepciones deformadas sobre ciencia que pueden transmitirse directa o indirectamente en la enseñanza (Gil Pérez, 1993). Dichas concepciones fueron agrupadas en siete tipos, recogidos en la *Tabla I*, atendiendo a la extensa literatura publicada sobre cada una de ellas (Fernández et al., 2002).

Tabla 1. Principales concepciones distorsionadas sobre ciencia en la enseñanza

Concepción sobre ciencia	Descripción
Visión empirista y ateórica	Presenta la observación y la experimentación como algo neutro, no sujeta a ideas a priori.
Visión rígida	El método científico es presentado como un conjunto de etapas que han de seguir de forma algorítmica, sin atender, por ejemplo, a cuestiones dubitativas o al papel de la creatividad.
Visión aproblemática y ahistórica	Presenta los conocimientos científicos como productos ya elaborados, obviando las herramientas, dificultades y procesos tras su construcción, así como sus limitaciones y retos pendientes.
Visión acumulativa	Presenta una evolución lineal de la construcción de los saberes científicos.
Visión velada o elitista	Presenta los conocimientos científicos como algo reservado a los grupos capaces de comprenderlos tras el aparato matemático, existiendo discriminaciones sociales y de género.
Visión individualista	Presenta la historia de la ciencia como obra de genios aislados y no como un trabajo colectivo.
Visión descontextualizada	Presenta la ciencia como algo ajeno a debates éticos, socialmente neutra y desligada de aspectos políticos o económicos.

Fuente: Elaborada a partir de Gil Pérez (1993)

A fin de superar estas visiones deformadas sobre la ciencia, desde la didáctica de las ciencias se ha apuntado la necesidad de un aprendizaje de las ciencias basado en situaciones problemáticas, que promuevan la capacidad investigativa del alumno, siendo historia y filosofía de la ciencia recursos fundamentales para este fin. Así, encontramos otra potencialidad didáctica de la historia de la ciencia para la educación científica que va más allá de los contenidos o las ideas previas asociadas a los mismos: la historia de la ciencia es una herramienta para superar la visión empirista, rígida, atórica, aproblemática, ahistórica, acumulativa, elitista, individualista, descontextualizada y socialmente neutra de la ciencia. En definitiva, una herramienta para el aula que permite pensar qué es la ciencia, cómo se ha construido y cómo se construye el conocimiento científico. Más allá de los contenidos o de la narración de acontecimientos, la historia de la ciencia actuaría como un poderoso estímulo para la reflexión, tanto del alumnado como del profesorado (Lombardi, 1997).

En esta línea, se ha señalado también que relacionar historia y enseñanza de las ciencias permite cuestionar el cientificismo, es decir, considerar la ciencia como la única forma válida de observar el mundo (Izquierdo Aymerich, 1996); a la par que ayuda a generar

en el alumno una visión de la ciencia como una actividad humana colectiva, dinámica, abierta y en permanente construcción (Solbes y Traver, 1996). Una muestra de las profundas relaciones entre historia y naturaleza de la ciencia en la educación científica.

También cabe destacar el papel que la historia de la ciencia puede desempeñar como marco de comunicación, colaboración y trabajo conjunto entre las distintas materias escolares y sus didácticas específicas en el ámbito académico; fomentando la interdisciplinariedad del conocimiento (Lombardi, 1997). A nivel curricular, la historia de la ciencia puede estar presente no solo en las materias de ciencias, propiciando una valiosa pléyade de nexos curriculares entre las distintas materias, como veremos en el capítulo 2 de la presente tesis doctoral. Asimismo, además de como criterio de selección de los contenidos estructurantes, tal y como ya se ha señalado, se ha apuntado el papel de la historia de la ciencia como criterio de selección del orden en que son presentados los contenidos a trabajar, es decir, como criterio de secuenciación (Pedrinaci, 1996) y como hilo conductor en el diseño de unidades didácticas (Pérez de Eulate, 1996).

Si bien en la actualidad existe un amplio consenso a la hora de considerar valiosa la historia de la ciencia en la enseñanza de las

ciencias, tal y como han argumentado los autores citados, también se encuentran dificultades a la hora de llevar la historia de la ciencia a las aulas. Así, en el año 2000 el profesor Moreno González apuntaba en un sugerente artículo titulado *La historia de la ciencia: ¿saber útil o saber curioso?*, publicado en la revista *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, que si bien la incorporación de la historia y la filosofía de la ciencia a la enseñanza de las ciencias era una cuestión recurrente y de interés para el profesorado, su ejecución era más bien escasa; utilizándose la historia de la ciencia únicamente para determinados contenidos o como algo anecdótico.

Traver i Ribes (1996) también apuntó en esta línea, señalando que la mayoría de libros de texto de Física y Química de COU y BUP presentaban el conocimiento científico de forma claramente descontextualizada, desde una visión acumulativa y lineal de la ciencia. Asimismo, destacó que la mayoría de libros de texto no incluían referencias a trabajos originales de científicos en la historia de la ciencia, no empleaban la historia de la ciencia para el diseño de actividades para el alumnado y no mostraban el carácter tentativo de la ciencia, prevaleciendo una visión netamente empirista, que obvia rivalidades entre teorías y controversias.

Pese a los trabajos publicados a finales del siglo XX, como los apuntados con anterioridad, la presencia de la historia de la ciencia en las aulas como un saber útil seguía siendo presentada como una tarea educativa pendiente. Varios trabajos del siglo XXI han ido profundizando en dicha cuestión, erigiéndose una serie de nuevas perspectivas no solo encaminadas a poner en valor pedagógico la historia de la ciencia, sino a cuestionar y pensar qué historia de la ciencia ha de ser la adecuada en la enseñanza de las ciencias. Antes de profundizar en este aspecto, cabe señalar cuáles han sido algunos de los principales debates en torno a la historia de la ciencia para la educación científica, apuntando algunas de las principales limitaciones que se han destacado en torno a esta cuestión.

Desde la filosofía de la ciencia, Lombardi (1997) abordó los argumentos y contraargumentos de la incorporación de la historia de la ciencia al ámbito educativo, distinguiendo dos debates principales: el problema de la simplificación y el problema de la interpretación o reconstrucción. Una de las principales voces respecto al primer debate fue la de Klein (1972), quien apuntó que dado que abordar los saberes científicos en perspectiva histórica implica la selección y organización de los mismos no necesariamente de forma histórica, la historia de la ciencia en

contextos educativos sería una historia de la ciencia “recortada”, de la que sería mejor prescindir. Se trataría de una historia de la ciencia acomodada a la correspondiente ciencia que se ha de enseñar o a la concepción epistemológica del autor, presentando poco valor histórico (Whitaker, 1979).

Lombardi (1997) planteó que al ser inevitable la simplificación, el debate debería plantearse en torno a qué elementos se articula el “recorte” en la historia de la ciencia con fines didácticos. Entre ellos, cobra especial importancia la interpretación del autor, lo que conduce al segundo debate mencionado anteriormente.

Respecto a la cuestión del problema de la reconstrucción, el historiador de la ciencia Helge Kragh (1987) distinguió tres aproximaciones historiográficas a la historia de la ciencia: anacrónica (*whig*), diacrónica (*antiwhig*) y recurrente.

El historiador Herbert Butterfield (1931) empleó el término historiográfico *whig* para referirse a la historia de la ciencia que suele presentarse en los libros de texto, con un enfoque presentista y anacrónico, eliminando del relato histórico todas aquellas teorías que resultaron erróneas a la luz del presente. Este enfoque implica numerosos riesgos y limitaciones pues solo atiende a aquellas

teorías, modelos, prácticas y saberes que revelan la ciencia como un proceso que avanza linealmente hacia el éxito.

En contraposición a este enfoque se sitúa la historiografía *antiwhig*, que aboga por una historia de la ciencia diacrónica, que valore los saberes y prácticas científicas en sus contextos. Varios autores, como Kragh (1987), han apuntado que tanto una perspectiva totalmente *whig* como totalmente *antiwhig* son utópicas.

La historia recurrente de la ciencia, idea introducida por Bachelard (1951), haría alusión a la evaluación deliberada de la ciencia pretérita desde la óptica de la ciencia actual, no para localizar ideas actuales en ciencia en tiempos pretéritos, como cabría esperar de un enfoque netamente *whig*, sino en aras de mostrar cómo ideas y prácticas surgieron a partir de otras a través de una serie de modificaciones que incluyen errores, sin recurrir a una visión teleológica de la historia.

Si bien una revisión en profundidad de este debate historiográfico trasciende del ámbito didáctico, una de las principales enseñanzas que se puede extraer del mismo es que la historia de la ciencia va más allá de una mera narración del pasado, siendo interpretada y construida desde el conocimiento que desde el presente se tiene del pasado, algo que no ha de olvidarse cuando se

atiende a las utilidades didácticas de la evolución histórica de la ciencia en general y de la química en particular (Moreno Martínez, 2015). Estos debates en absoluto restan interés a la introducción de una dimensión histórica en la enseñanza de las ciencias:

En modo alguno resulta ilegítimo que el docente presente su propio relato histórico, su propia interpretación del pasado, siempre que no pretenda convertir su versión en inobjetable y definitiva; es deber del profesor poner de manifiesto el carácter constructivo de la historia, así como su propia posición epistemológica desde la cual elabora su relato. (Lobardi, 1997, p. 348)

De este modo, “la historia deja de ser para el alumno un contenido más, una mera narración de los acontecimientos, para convertirse en un poderoso estímulo para la reflexión” (Lombardi, 1997, p. 348).

Campanario (1998) también abordó las limitaciones de la historia de la ciencia en la enseñanza de las ciencias. El autor señaló a los libros de texto como materiales que han sido en buena parte culpables del limitado papel que la historia de la ciencia ha desempeñado en la enseñanza tradicional de las ciencias. La historia de la ciencia en los libros de ciencias se limitaría según Campanario

a “las fechas en que se originó determinado concepto, se formuló una teoría, se desarrolló un método o se realizó un descubrimiento” o “biografías (a veces idealizadas) de los científicos más importantes”, con el objetivo de “hacer menos aburrida la exposición de los contenidos puramente científicos” e incurriendo en “errores notorios y falsedades históricas” que “persisten durante años” (Campanario, 1998, p. 7). Por el contrario, aspectos como las controversias científicas, disputas y luchas por la prioridad, los fraudes científicos o el tratamiento de los datos para que se ajusten a las teorías son silenciados.

Es por ello que Campanario se refiere a la historia de la ciencia en educación como “un arma de doble filo” (Campanario, 1998, p. 9). Si bien encierra notables potencialidades, ya expuestas con anterioridad y resumidas en la *Tabla 2*, pueden darse usos pedagógicos inadecuados de la historia de la ciencia, como su uso para explicar ciencia pretérita a la luz de la ciencia actual, enfoque presentista que ya ha sido señalado anteriormente como una de las limitaciones de la historia de la ciencia en educación.

De este modo, la historia de la ciencia perdería su enorme potencial analítico y crítico, características reforzadas por los últimos trabajos sobre la cuestión. Trabajos que, nutriéndose de

buena parte de las investigaciones comentadas, han contribuido a generar una mirada renovada y fértil en torno a cómo y para qué está presente la historia de la ciencia en la formación del profesorado, la práctica docente, el currículo o los libros de texto. De estos dos últimos aspectos nos ocuparemos a continuación.

Tabla 2. Principales potencialidades pedagógicas de la historia de la ciencia

	Para el profesor	Para el estudiante
Enseñar y aprender ciencia	<ul style="list-style-type: none"> • Actúa como criterio de selección y secuenciación de contenidos. • Puede actuar como hilo conductor para el diseño de unidades didácticas. • Ayuda a comprender cómo construyen el conocimiento científico los estudiantes en su aprendizaje. • Propicia la colaboración del profesorado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contribuye a situar los conceptos, leyes y teorías científicas en su contexto. • Ayuda a conocer cómo se ha construido y se construye el conocimiento científico. • Promueve el aprendizaje significativo de las ciencias. • Permite al alumno relacionar los aprendizajes en ciencias con los de otras materias.
Enseñar y aprender sobre ciencia	<ul style="list-style-type: none"> • Humaniza la ciencia, mostrando aspectos sociales, culturales y políticos. • Contribuye a la formación del profesorado, aportando una reflexión crítica sobre la propia ciencia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contribuye al desarrollo del pensamiento crítico sobre temas científicos. • Propicia la reflexión en torno a las relaciones ciencia y sociedad. • Permite superar visiones deformadas de la ciencia.

Fuente: elaboración propia a partir de los trabajos citados en el presente epígrafe

1.3 Características de una “buena historia de la ciencia” para la educación científica

Los trabajos publicados en los últimos años sobre historia y filosofía de la ciencia para la educación científica han revelado el estudio del tratamiento y los usos de la historia de la ciencia en las aulas de ciencias como un aspecto central e imprescindible para la actual didáctica de las ciencias experimentales, llegando a afirmarse que:

La ciencia sin didáctica, no sobrevive; porque sin alumnos no hay continuidad. La ciencia sin historia no imagina el futuro, porque desconoce la sorpresa de preguntas imprevistas. La didáctica sin ciencia que enseñar es vacía, obviamente. Por todo ello, como la didáctica trabaja por el futuro de nuestros alumnos, necesita una ciencia con historia. (Quintanilla Gatica, Daza Rosales y Cabrera Castillo, 2014, p. 47)

Historia de la ciencia cuya presencia no solo es recomendable para la enseñanza de las ciencias, sino cuya ausencia encierra importantes perjuicios para la misma:

Si las ciencias se explican al margen de su historia pierden una parte de su significado, porque parecen dogmáticas,

descontextualizadas y con un futuro predeterminado: avanza hacia la verdad y el progreso, sin pensar qué significado llegarán a tener estos dos términos tan arrogantes. (Quintanilla Gatica et al., 2014, p. 43)

Sin embargo, introducir la dimensión histórica en la enseñanza de las ciencias no se restringe a enseñar la evolución de los conceptos científicos a lo largo de la historia (Izquierdo Aymerich, García Martínez, Quintanilla Gatica y Adúriz Bravo, 2016); que en ocasiones puede resultar difícil de aprender para los alumnos. Se trata, de potenciar la historia de la ciencia como herramienta pedagógica para, por ejemplo, comunicar las materias escolares, pues “la estricta separación entre las diferentes materias de los currículos pierde sentido a la luz de la historia de la ciencia” (Izquierdo Aymerich et al., 2016, p. 27) o reflexionar sobre el lenguaje, pues “la lectura de textos antiguos puede ser la puerta que abra el interés de los alumnos por otras maneras de decir y de hacer al intervenir en el mundo natural” (Izquierdo Aymerich et al., 2016, p. 29).

Desde la historia de la ciencia también se ha dirigido la mirada a la enseñanza actual de las ciencias. En 2008, se publicó en *Isis*, una de las revistas más prestigiosas en el ámbito académico de la

historia de la ciencia, un trabajo titulado *Does Science Education Need the History of Science?* (Gooday, Lynch, y Barsky, 2008). A tal pregunta, los autores respondieron afirmativamente, indicando que existen al menos dos formas en las que la didáctica de las ciencias necesita a la historia de la ciencia. En primer lugar, para incluir la historia de la ciencia como parte del currículo. En segundo lugar, usando la historia de la ciencia para “defender” la autonomía de dicho currículo de ciencias. Asimismo, los autores invitaron a los historiadores de la ciencia a trabajar por la enseñanza de las ciencias, contribuyendo a proporcionar una más detallada justificación de las utilidades didácticas de la historia de la ciencia, por ejemplo, para pensar críticamente la ciencia. Asimismo, historiadores de la ciencia y científicos deberían trabajar conjuntamente para evitar que malos usos de la historia de la ciencia lleguen a contextos educativos. Según los autores, solo estas tareas supondrían décadas de trabajo para los historiadores de la ciencia, contribuyendo a mostrar cómo esta disciplina puede beneficiar la educación científica de nuestro siglo.

En esta línea, cabe destacar las palabras del historiador de la ciencia Nieto Galán (2014), referidas a la escasa formación histórica de los estudiantes de ciencias:

Se mencionan algunos detalles sobre la vida de Galileo, Newton o Einstein en clase de física, sobre Lavoisier, Dalton o Mendeleiev en clase de química, o sobre Lamarck, Darwin y Mendel en clase de biología. Este tipo de historia superficial, una historia ornamental pero vacía de instrumentos intelectuales útiles, se suele combinar además muy a menudo con discursos retóricos de los dirigentes de la política educativa sobre la necesidad de “humanizar” la ciencia y la tecnología, un verbo este último demasiado desprovisto de contenidos sólidos a la hora de su aplicación práctica. (p. 67)

Además, señaló que la herencia positivista sigue presente en la ciencia y su enseñanza de nuestro tiempo, reflejándose en una reconstrucción teleológica y presentista del pasado, que se refuerza con la idea de un progreso lineal y acumulativo del saber científico:

La historia de la ciencia sería en este contexto la historia de los grandes logros de la humanidad en su esfuerzo continuado por comprender y modificar la naturaleza; la epopeya de grandes genios irrepetibles, de generaciones que han superado siempre a los anteriores, de antecedentes indiscutibles de nuestra sabiduría presente, de grandes teorías e ideas, que con independencia de las condiciones materiales de cada época o

lugar histórico se habrían erigido en los símbolos inequívocos del progreso científico. (Nieto Galán, 2014, p. 69)

Para el historiador de la ciencia, esta situación de la historia de la ciencia no es exclusiva del ámbito escolar, sino que constituye “un reflejo más del poco valor atribuido a la historia de la ciencia, y en particular, a la historia de las ciencias experimentales en las sociedades contemporáneas” (Nieto Galán, 2014, p. 68).

Partiendo de los argumentos y limitaciones expuestos en el apartado anterior, las investigaciones más recientes han profundizado en las características que la historia de la ciencia ha de presentar en contextos educativos, así como en el análisis crítico de las distintas aplicaciones didácticas que la historia puede desempeñar en el aula de ciencias. Algunos autores se han referido a esta historia de la ciencia adecuada a los contextos educativos como una “buena historia” para una “nueva aula de ciencias” (Quintanilla Gatica et al., 2014, p. 34). A continuación se ofrece una recopilación de las principales características otorgadas a la historia de la ciencia en contextos y materiales educativos, a tenor de la revisión de algunos de los trabajos publicados sobre esta cuestión en la última década. Así, la historia de la ciencia en y para la educación científica ha de ser:

(1) Una historia de la ciencia crítica que vaya más allá del relato genealógico de la disciplinas científicas, basado en una “larga y aburrida lista de padres fundadores, descubrimientos cruciales y fechas decisivas” (Bertomeu Sánchez y García Belmar, 2006, p. 255). Una historia de la ciencia que huya de la hagiografía, evitando erigir figuras históricas modélicas responsables de los logros científicos de cada época, ignorando el papel de la comunidad científica (Izquierdo Aymerich et al., 2016).

(2) Una historia de la ciencia analítica en el marco educativo, que permita comprender la génesis de los saberes científicos (Brock, 2016), sin ignorar fallos, callejones sin salida y otros obstáculos. Esta historia de la ciencia sería la que surge del trabajo de los historiadores de la ciencia, adaptada a las necesidades del profesor y dentro de un marco avalado por la didáctica de las ciencias. Así, Quintanilla Gatica et al. (2014) indican que se ha de prescindir de aquellas preguntas que si bien tengan interés didáctico, la historia de la ciencia no haya respondido o no pueda responder. Asimismo, el nivel de exactitud histórica de las correspondientes unidades didácticas se ha de adaptar a los requerimientos didácticos propios de cada curso y etapa.

(3) Una historia de la ciencia que valore prácticas y saberes en su contexto social, cultural, político y económico, evitando “juzgar el valor de la ciencia obsoleta a partir de la luz fulgurante de nuestras teorías contemporáneas” (Bertomeu Sánchez y García Belmar, 2008a, p. 58). Es decir, que no interprete saberes y prácticas pretéritas como si se produjesen en el contexto científico actual (Izquierdo Aymerich et al., 2016). Asimismo, ha de ser una historia de la ciencia que no adopte una perspectiva totalmente externalista (es decir, centrada únicamente en el contexto social, político y económico...), ni una perspectiva totalmente internalista (es decir, centrada únicamente en la comunidad científica) (Quintanilla Gatica et al., 2014).

(4) Una historia de la ciencia que atienda a problemáticas y aproximaciones propias de las filosofía y la sociología de la ciencia (Bensaude-Vincent y Simon, 2008; Matthews, 2014), como la naturaleza de la ciencia (Adúriz Bravo, 2005).

(5) Una historia de la ciencia que permita la colaboración entre materias escolares, actuando como nexo entre los aprendizajes escolares, tanto del ámbito científico-tecnológico, como humanístico-social (Lombardi, 1997; Matthews, 2014).

(6) Una historia de la ciencia que integre los aspectos materiales, sociales, culturales y educativos de la ciencia, entendiendo la enseñanza como un marco de producción y configuración de los saberes científicos y no de mera transmisión de los mismos. Por ello, una historia de la ciencia que permite al profesorado tomar parte activa en el debate sobre el papel de la ciencia en las aulas (Bertomeu Sánchez, 2016).

Una historia de la ciencia en un contexto escolar que reúna estas características no solo se revela de interés didáctico para mejorar la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, tal y como han establecido los diversos trabajos citados en el presente capítulo, sino que se erige como una herramienta eficaz para enseñar y aprender sobre ciencia. Es decir, para reflexionar sobre la naturaleza de la ciencia desde una óptica renovada, que huya de idealizaciones y que se muestre más próxima a las reconstrucciones históricas sobre cómo se ha construido el conocimiento científico (Izquierdo Aymerich et al., 2016).

Frente a la imagen idealizada habitual del método científico, único para todas las ciencias, la historia de la ciencia ayuda a comprender la complejidad que subyace en las prácticas a través de las cuales los científicos, desde un marco conceptual y teórico,

convierten hechos naturales en hechos científicos. De este modo, la historia de la ciencia permite crear en los estudiantes “una imagen de la ciencia dinámica y humana, que se aleje de la exposición de productos acabados (verdades científicas) y haga vislumbrar algo de la complejidad de la actividad científica” (Izquierdo Aymerich et al., 2016, p. 96).

1.4 Historia y enseñanza de la química: Perspectivas y estudios de interés

En 2011, con motivo del Año Internacional de la Química, tuvo lugar el Seminario Internacional *Química: Historia, filosofía y educación*. Entre los objetivos de dicho seminario se incluían fortalecer la enseñanza de la química desde la historia y la filosofía de la ciencia, así como consolidar la comunidad académica preocupada por los problemas históricos y epistemológicos de la química y su relación con la enseñanza. Estos dos objetivos ponen de manifiesto cómo potenciar la sinergia historia-didáctica en el ámbito de la química seguía constituyendo un desafío de la educación química en los inicios de esta década.

Entre los trabajos publicados a tenor de este seminario cabe destacar los de Talanquer (2011) y Bertomeu Sánchez (2011),

quienes incidieron en la falta de comunicación efectiva entre historia y didáctica de la química en el marco del aprendizaje y la enseñanza de esta ciencia, respectivamente.

Talanquer (2011) apuntó que “las investigaciones en historia y filosofía de la química –por un lado- y en educación de esta ciencia –por otro- se han desarrollado sin claros puntos de comunicación y contacto” (p. 62). En esta línea, señaló que la historia de la química no es solamente útil a efectos de enseñanza, sino que también lo es en términos de aprendizaje significativo de dicha ciencia. Talanquer (2011) ilustró esta potencialidad pedagógica de la historia de la química con tres debates en historia y filosofía de la química de interés en el ámbito didáctico: (1) el debate herencia vs emergencia en torno a si las propiedades físicas y químicas de la materia se heredan de las propiedades de las partículas que la constituyen o emergen de la interacción entre las mismas; (2) el debate teleología vs causalismo que contrapone una explicación de los fenómenos químicos en términos de nivel submicroscópico frente a la explicación de los estudiantes en términos de los que átomos y moléculas “quieren” o “buscan”, que recuerda a explicaciones de tinte alquímico; y (3) el debate hibridación vs multiplicidad, de interés a la hora de pensar los múltiples modelos utilizados por los

estudiantes en su aprendizaje y los modelos híbridos que en ocasiones incluyen elementos contradictorios, respecto a los cuales la historia de la ciencia puede ayudar a evaluar sus usos, alcances y limitaciones.

Bertomeu Sánchez (2011), a través de la investigación histórica sobre la apropiación del sistema periódico de Dimitri Mendeleiev en el contexto español en el siglo XIX, apuntó que:

Muchos manuales de enseñanza continúan equiparando el desarrollo de la ciencia como una sucesión de trabajos de grandes mentes con momentos de inspiración genial, produciendo así una narración fácil de asimilar por estudiantes y profesores, pero que conduce a difundir imágenes muy deformadas de la actividad científica. (p. 39)

A fin de superar esta situación, apuntó que es “necesario asimilar las nuevas investigaciones sobre historia de las ciencias en las imágenes que se transmiten en la enseñanza de las ciencias” , lo que “supone establecer nuevos vínculos entre historia y enseñanza de las ciencias que impliquen nuevos usos didácticos de la historia y una comunicación más fluida entre las diversas disciplinas y los grupos de investigación que trabajan sobre estas cuestiones” (Bertomeu Sánchez, 2011, pp. 39-40).

El trabajo de ambos autores pone de manifiesto la existencia de una desconexión significativa entre historia y enseñanza de la química en un periodo reciente, inscrito en el marco legislativo de la presente tesis doctoral. Asimismo, esta desconexión no es exclusiva de la alfabetización científica que la ciencia en Educación Secundaria pretende, sino que también estaría presente en la formación de los químicos y, por tanto, también, de futuros profesores de Física y Química de ESO y Bachillerato.

Así, el historiador de la ciencia Agustín Nieto Galán (2010) apuntó que la química contemporánea se enfrenta a una pérdida de historicidad, pues los propios “químicos han abandonado a sus antepasados”, los cuales aparecen solo en “superficiales introducciones históricas en los correspondientes manuales” (Nieto Galán, 2010, pp. 16-17). Desde este marco, no sorprende que las nuevas tendencias en investigación histórica sobre la química, si bien con importantes potencialidades didácticas por explorar, no hayan ocupado un papel destacado en la investigación educativa.

La falta de comunicación entre historia y didáctica de la química de la que hablan los autores anteriores se puede abordar desde múltiples perspectivas. Así es posible plantearla en términos de enfoques y tendencias propias de la historia de la química

ausentes en el marco educativo, pero también de contenidos escolares sobre historia de la química que difieren de los resultados de la investigación histórica, entre otras muchas posibilidades.

Si atendemos a perspectivas, enfoques y tendencias merecen especial atención los trabajos publicados en 2008 en *Anales de Química* por los historiadores de la ciencia José Ramón Bertomeu Sánchez y Antonio García Belmar. Bajo el título *La historia de la química: Pequeña guía para navegantes*, esta serie de dos artículos presentaba algunas de las nuevas tendencias en el ámbito de la historia de la química. Entre ellas, los autores destacan el abandono de la historia disciplinar de las ciencias, es decir, de una historia orientada a una sucesión cronológica de saberes pretéritos que condujesen a la disciplina presente, sin atender a las fronteras cambiantes de la disciplina o a posibles cambios de orientación.

Frente a esta historia disciplinar de las distintas ciencias -entre ellas, la química- desde principios del siglo XX varias voces han abogado por una historia integrada de las ciencias, sin que ello implique desatender la historia de la química, pues:

Esto no significa que hayan dejado de escribirse libros centrados en la historia de la química pero, muchos de ellos se han escrito desde nuevas perspectivas, con nuevos personajes y

mayor presencia de cuestiones que afectan también a otras disciplinas científicas. (Bertomeu Sánchez y García Belmar, 2008a, p. 60)

Otra nueva tendencia ha sido superar la división entre historia externalista (centrada en contextos políticos y sociales, instituciones, etc) e historia internalista (centrada en las ideas y saberes científicos) de la química, pues ambas perspectivas son necesarias para comprender la química en perspectiva histórica. Bertomeu Sánchez y García Belmar (2008a, 2008b) señalaron el especial interés de las biografías a la hora de ofrecer una narración integrada de los distintos elementos implicados en la actividad científica. Biografías que, tras ser ampliamente cuestionadas, se han erigido como un género renovado en las últimas décadas, de especial interés para comunicar historia y enseñanza de la química (Bertomeu Sánchez, 2016; Bertomeu Sánchez et al., 2017).

Finalmente, los autores incluyen como una nueva tendencia de interés en historia de la química la sustitución de la discusión en torno a las limitaciones del “método científico” por estudios detallados y críticos sobre el trabajo de laboratorio con especial atención a los instrumentos científicos antiguos y al estudio comparado de publicaciones y cuadernos de laboratorio, pues “lo

que en el cuaderno de laboratorio puede ser un error experimental, puede aparecer en la publicación como un experimento para dilucidar una hipótesis que quizá surgió posteriormente” (Bertomeu Sánchez y García Belmar, 2008a, p. 61).

Como se ha apuntado, la falta de comunicación entre historia y didáctica de la química no se ha producido únicamente en términos de enfoques y tendencias, también en cuestión de contenidos. En las últimas décadas han sido numerosos y valiosos los trabajos que, tanto desde la didáctica de las ciencias, como desde la historia de la ciencia, han analizado la historia de la química en contextos y materiales educativos. Muchos de estos trabajos se han centrado en el tratamiento que se otorga a la historia de la química en torno a determinados conceptos, leyes, teorías y modelos que conforman la química escolar. Estos trabajos han apuntado que los contenidos sobre historia de la química que encontramos en los libros de texto difieren de los que resultan de las investigaciones históricas académicas sobre química. Un caso de especial interés lo encontramos en la presentación histórica de los modelos atómicos en los libros de texto, tal y como recogía Niaz (2014), una de las temáticas más ampliamente abordadas en la investigación sobre historia y filosofía de las ciencias en educación.

Solbes, Calatayud, Climent y Navarro (1987) analizaron una muestra de 56 libros de EGB, BUP y COU mediante un cuestionario compuesto de 15 ítems relacionados con distintos aspectos de los modelos atómicos de Thomson, Rutherford, Bohr, Sommerfeld y cuántico. Dicho análisis contribuyó a revelar los libros de textos como materiales en los que ideas precuánticas y cuánticas conviven, por ejemplo, empleándose modelos precuánticos para explicar problemas propios de la mecánica cuántica. Por ello, los autores abogaron por el empleo de modelo atómico de Bohr en los niveles básicos de enseñanza, siempre que se aborden también las correspondientes inconsistencias del modelo.

El estudio de Cid Manzado y Dasilva Alonso (2012) sobre un total de 16 libros de texto de ESO y Bachillerato reveló un tratamiento insuficiente de los modelos atómicos de Thomson y Rutherford, sin mostrar las aplicaciones de estos modelos en su contexto; una presentación del modelo de Bohr en la que este no se aplica a la hora de justificar las diferentes propiedades de la materia o una introducción del modelo cuántico excesiva en ESO y presentada de forma memorística en Bachillerato.

Precisamente, para la etapa de Bachillerato, Doménech Blanco, Savall Alemany y Martínez Torregrosa (2013), como resultado del análisis de libros de texto Física y Química de dicha etapa con relación a los modelos atómicos de Thomson y Rutherford, concluyeron que existen discrepancias significativas entre los modelos presentados en los libros de texto y los textos históricos. Por ejemplo, ninguno de los libros de texto analizados por los autores se refiere a la posibilidad del movimiento de los electrones planteado por Thomson, ni a que la propuesta de Rutherford, de acuerdo a su modelo de 1911, se limitase a una carga concentrada en una pequeña región y que, aun suponiéndola positiva, no descartase que pudiera ser negativa. Concluyen que, al proporcionar los libros de texto una imagen simplista de la historia de los modelos atómicos, los alumnos no pueden valorar totalmente su utilidad, ni ser conscientes de las limitaciones de cada modelo.

Cuéllar, Pérez y Quintanilla Gatica (2005) analizaron cómo el modelo atómico de Rutherford era presentado en los libros de texto, tanto de Educación Media como Superior en Colombia, confrontando los aspectos recogidos en los mismos con los trabajos originales de Ernest Rutherford. Dicho análisis también mostró la existencia de numerosas cuestiones que no se mencionan

satisfactoriamente, como el caso que de acuerdo al modelo atómico de Thomson, la radiación alfa solo debería sufrir pequeñas desviaciones al atravesar la lámina de oro en el conocido experimento de Hans Geiger y Ernest Marsden.

La reactividad química y sus leyes también han sido contenidos estudiados en el marco de la historia de la química en educación. Desde la historia de la ciencia, merece especial mención el trabajo de Muñoz Bello y Bertomeu Sánchez (2003), quienes abordaron el tratamiento dado a los trabajos de Amadeo Avogadro en los libros de texto de Educación Secundaria. Su análisis reveló que la mayoría de libros de texto presentan a Avogadro como un científico incomprendido, cuyos trabajos si bien permitieron solucionar el problema del cálculo de los pesos atómicos, cayeron en el olvido de no ser por la labor de Cannizarro en el congreso de Karlsruhe.

Esta forma de narración histórica difiere considerablemente de la que resulta del trabajo de los historiadores de la ciencia, ni tampoco se sostiene a la vista de los propios trabajos de Avogadro y de sus contemporáneos. Los autores apuntan a la utilidad didáctica de la hipótesis de Avogadro para explicar algunos aspectos de la teoría atómica como uno de los posibles motivos tras la presencia generalizada de este tipo de narrativas en los libros de texto.

Narrativas que introducen una imagen distorsionada del trabajo de los científicos que ha de revisarse y que requiere, según los autores, de la investigación y debate conjuntos entre investigadores en didáctica e historiadores de la ciencia.

Desde la didáctica y la filosofía de la química, Izquierdo Aymerich (2010) empleó la historia de la química para ilustrar distintos aspectos de interés para la enseñanza de la teoría atómica, apuntando que “los graves problemas de comprensión de los conceptos básicos son debidos a que se ha perdido la relación dialéctica entre la teoría (los átomos y sus estructuras) y la práctica (los fenómenos químicos reales)” (Izquierdo Aymerich, 2010, p. 189). La autora sostiene que si bien históricamente se construyó un átomo físico a partir del átomo químico, no es posible deducir la química a partir del átomo físico, por lo que:

Recuperar la teoría química primigenia (la “química de las sustancias”) ha de ser una tarea primordial para los profesores de química actuales, admitiendo tanto la barrera epistemológica que para Mendeleiev supusieron las evidencias referentes a una estructura interna del átomo, como el nuevo átomo cuántico que nos lleva, ahora, a una nueva química nanotecnológica. (Izquierdo Aymerich, 2010, p. 192)

También cabe señalar que otros trabajos han abordado la construcción histórica de determinados conceptos fundamentales en química, como estrategia a fin de abordar las distintas dificultades conceptuales y epistemológicas del aprendizaje de los mismos. Entre estos conceptos encontramos el de valencia (Gallego Badillo, Pérez Miranda, Uribe Beltrán, Cuéllar Fernández y Amador Rodríguez, 2004), ion (Galache López y Camacho Domínguez, 1992; Galache López, Camacho Domínguez y Rodríguez García, 1991), mol y cantidad de sustancia (Furió, Azcona y Guisasola, 1999) o entropía (Padilla Martínez, 2010). Estos trabajos suponen una muestra de cómo un análisis histórico resulta profundamente fértil a la hora de abordar críticamente algunas de las cuestiones de interés en la investigación en didáctica de la química, tales como la presentación de determinados conceptos en materiales educativos. De este modo, historia y filosofía de la química forman un tándem fundamental en la reflexión didáctica sobre química, tanto a nivel de contenidos como de enfoques y perspectivas.

Estos trabajos anteriormente referidos revelan la confrontación entre historia de la química escolar y los trabajos históricos como una línea de trabajo consolidada y de interés en la investigación histórico-didáctica sobre química. Sin embargo, la búsqueda

bibliográfica realizada ha revelado ciertas cuestiones que, si bien abordadas desde los trabajos históricos sobre química, han sido mucho menos confrontadas con la historia de la química escolar, al menos en el marco legislativo que la presente tesis doctoral engloba.

Este criterio ha permitido seleccionar una serie de cuestiones que ofrecen la oportunidad de conocer no solo cómo están presentes determinados contenidos sobre historia de la química en el marco normativo de la enseñanza, sino también atender a enfoques propios de la historia de la química, valorando su presencia o ausencia en educación. Es por ello que dichos estudios se han considerado de gran interés para la investigación que aquí se presenta, ofreciéndose para finalizar este capítulo una revisión general de los mismos desde la literatura especializada. Como se abordará a partir del capítulo 3, dichos trabajos han tenido un papel clave en el diseño del marco metodológico y en la discusión de los resultados del estudio empírico que junto con este marco teórico, conforman la presente tesis doctoral.

Una relación de dichas cuestiones y de los principales trabajos revisados en esta línea se recoge en la *Tabla 3*.

Tabla 3. Cuestiones y estudios de interés en historia de la química

Cuestión	Estudios relacionados
(a) Lavoisier y la conformación de la química como disciplina científica	Bensaude-Vincent y Abbri (1995); Bertomeu Sánchez y García Belmar (2006); Chamizo (2011, 2012), Golinski, (1992); Mieli (1948).
(b) El experimento de la lámina de oro que llevó a Rutherford a concebir un modelo nuclear del átomo	Brock (2016); Niaz (2016).
(c) La síntesis de la urea de Wöhler en 1828 y su papel en el fin del vitalismo	Brooke (1971); Lipman (1964); Ramberg, (2000, 2015).
(d) La teoría del flogisto como marco para la explicación de fenómenos químicos	Bensaude-Vincent y Stengers, (1997); Bertomeu Sánchez y García Belmar (2006); Mieli (1948).
(e) Las prácticas y saberes relacionadas con la química históricamente anteriores a la química moderna	Bensaude-Vincent y Simon (2008); Bensaude-Vincent y Stengers, (1997); García Belmar y Bertomeu Sánchez (1999); Parshall, Walton y Moran (2015).
(f) El atomismo en la historia de la ciencia para explicar fenómenos químicos desde un enfoque corpuscular	Bensaude-Vincent y Stengers (1997); Brock (1967, 2016); Diéguez (1995); Izquierdo Aymerich (2010); Nye (1972, 1996), Pellón González (2012).
(g) La historia de los modelos de enlace químico	Aragón de la Cruz (2016); Chamizo (2005); Gavroglu y Simoes (2012); Nye (1996); Palmer (1965); Shaik y Hiberty (2008).
(h) El papel de las mujeres en la historia de la ciencia	Fara (2014); Fox Keller (1995); Jordanova (1993); López Navajas (2014); Vázquez Alonso y Manassero Mass (2003); Schiebinger (1990, 2004); Watts (2007).
(i) El papel de los instrumentos científicos en la historia de la ciencia	Bertomeu Sánchez y García Belmar (2002); Hankins y Helden (1994); Heering (2009); Matthews, Gauld y Stinner (2006); Simon, García Belmar y Bertomeu Sánchez (2005).

Fuente: Elaboración propia

Al criterio de selección anterior, cabe añadir que se trata de cuestiones ampliamente consolidadas en los estudios históricos sobre ciencia (en particular, sobre química) y que los trabajos considerados han sido publicados con notable anterioridad a los primeros años del marco LOE para ESO y Bachillerato (2007-2016), con excepción de algunos trabajos, como Niaz (2016) o Brock (2016), entre otros, que aunque publicados durante dicho marco, se han considerado de especial interés por incluir una revisión de trabajos anteriores en torno a alguna de las cuestiones.

A continuación se ofrece una revisión sintética de dichas cuestiones desde los trabajos académicos en historia de la química anteriormente recogidos, apuntando también en cada caso su interés para con la didáctica de la química:

(a) La figura de Lavoisier como padre fundador de la química moderna surge como imagen a tenor de los trabajos de los químicos-historiadores del siglo XIX, que transformaron la revolución química en el momento fundacional de esta ciencia. Esta imagen se instauró y consolidó firmemente en la comunidad química hasta nuestros días. Sin embargo, la consolidación de la

historia de la ciencia como área de estudio e investigación en el siglo XX implicó que cuestiones como esta se afrontasen desde una mirada renovada y crítica, atendiendo a nuevas cuestiones, problemáticas, contextos y personajes.

Si bien algunos autores, entre los que destaca Mieli (1948), apuntaron hace décadas que la revolución química no fue obra de un único químico, sino de la comunidad química europea del siglo XVIII, la imagen de Lavoisier como artífice de la revolución química ha perdurado hasta nuestros días: “el uso didáctico de la historia, junto con el valor emblemático que han alcanzado ciertos personajes o descubrimientos, ha producido la consolidación de imágenes de la revolución química que contrastan notablemente con las conclusiones obtenidas por los historiadores” (Bertomeu Sánchez y García Belmar, 2006, p. 254).

En esta línea, desde la historia de la ciencia se ha apuntado que la química era una disciplina consolidada y ampliamente desarrollada antes de la irrupción de Lavoisier. En este sentido, el estudio de las afinidades químicas o la química de las sales sirvió para que médicos y farmacéuticos potenciasen el estudio de la química en el siglo XVIII (Bertomeu Sánchez y García Belmar, 2006). Los públicos cambiantes de la química habrían jugado un

papel activo en la orientación de las investigaciones, que inicialmente no estaban centradas en los interrogantes clásicamente asociados a la revolución química (Golinski, 1992).

Una de las principales aportaciones de Lavoisier de acuerdo a las narrativas clásicas es el uso de la balanza como principal herramienta de trabajo del químico. Este hecho contrasta no solo con la llamativa ausencia de dicho instrumento en la icónica pintura de Jacques-Louis David del matrimonio Lavoisier –que ilustra la cubierta de esta tesis doctoral-, erigida como imagen clásica de la revolución química, también con el trabajo de los historiadores de la química que han afirmado que el uso de este instrumento ya se puede encontrar en la obra de distintos autores del siglo XVIII. De este modo, la balanza fue un instrumento de uso frecuente e incluso indispensable en muchos laboratorios, mucho antes de Lavoisier (Bensaude-Vincent y Abbri, 1995; Bertomeu Sánchez y García Belmar, 2006).

Finalmente y para los aspectos que aquí nos ocupan respecto a la revolución química, cabe mencionar los trabajos de Chamizo (2011, 2012), quien partiendo de los trabajos del historiador de la química William Jensen, señaló cinco momentos refundacionales en la historia de la química. Cinco revoluciones químicas que

implicaron una serie de modificaciones a la hora de afrontar el estudio de la materia y de sus transformaciones que se reflejaron en manuales, lenguaje, prácticas e instrumentos. Una descripción general de dichas revoluciones se recoge en la *Tabla 4*, donde la, hasta ahora llamada, revolución química sería la primera revolución.

Tabla 4. Las cinco revoluciones químicas

Revolución	Características	Personajes	Instrumentos
Primera 1754-1818	Oxígeno, química cuantitativa, lenguaje, química neumática	Lavoisier	Balanza, calorímetro
Segunda 1828-1874	Congreso de Karsruhe, Tabla Periódica, valencia, química orgánica, espectroscopia	Cannizarro, Kekulé, Frankland, Mendeleiev, Perkin, Bunsen	Polarímetro
Tercera 1883-1923	Química electrónica y nuclear, rayos X, química física	Curie, Lewis, Bragg, Ostwald	Tubo de rayos catódicos y espectrometría de masas
Cuarta 1945-1966	Química macromolecular, computacional, bioquímica	Pauling, Woodward, Hoffmann	IR, UV, RMN, cromatografía, cristalografía
Quinta 1973-1999	Ambiental, Organometálica, supramolecular, nanoquímica	Molina, Wilkinson, Lehn, Kroto	Fentocámara, RMN multinuclear

Fuente: Elaborada a partir de Chamizo (2011), con modificaciones derivadas de Chamizo (Agosto de 2017)

Esta cuestión es, por tanto, de gran interés didáctico por permitir la reflexión crítica en torno a la química como una actividad humana colectiva, lejos de una imagen de la misma como obra de grandes genios aislados.

(b) El experimento de la lámina de oro que llevó a Rutherford a proponer un modelo nuclear del átomo constituye un capítulo ampliamente conocido en la historia de la química y de la física. En dicho experimento -llevado a cabo en varias ocasiones entre 1910 y 1913 por Thomson, Geiger y Marsden- partículas alfa eran dirigidas sobre una fina lámina metálica (oro, pero también otros metales como plata y cobre); de modo que se estudiaba la desviación de las partículas alfa al interactuar con la lámina metálica, a tenor de la impresión de dichas partículas sobre una película de detección de sulfuro de cinc.

A partir de una revisión de los trabajos originales y de algunos trabajos históricos, Niaz (2016) ha señalado algunos aspectos de interés en torno a este experimento histórico, utilizado ampliamente en el ámbito educativo. En primer lugar, que en el experimento cobró más importancia el hecho de que fueran pocas las partículas

alfa que se desviaban, frente al hecho de que el ángulo de desviación fuese grande.

En segundo lugar, que de acuerdo al modelo de Thomson, Rutherford esperaba que la mayoría de partículas alfa atravesaran la lámina, por presentar el átomo en dicho modelo una distribución uniforme de masa y de carga. El hecho de que pocas partículas alfa se desviasen significativamente llevó a Rutherford a concebir un modelo nuclear del átomo; aunque la existencia de desviaciones también fue explicada por Thomson en términos de dispersiones compuestas.

Es por ello que esta cuestión es de interés didáctico, pues frente a la imagen de experimentos cruciales que acaban con un modelo, para erigir otro; la historia de la ciencia revelaría una mayor complejidad en las prácticas científicas y en la interpretación de los resultados experimentales. La imagen de la experimentación como fuente única que dicta la teoría más adecuada se revela en este contexto simple y simplista; siendo necesario atender a cómo diversas interpretaciones rivalizan y conviven (Brock, 2016).

(c) En el año 2000, Peter J. Ramber publicó en *Ambix*, revista de la *Society for the History of Alchemy and Chemistry*, un interesante trabajo en el que apuntaba que el 90% de los manuales de química orgánica por él analizados presentaban la síntesis de la urea de Friedrich Wöhler de 1828 como el mito fundacional de la química orgánica como subdisciplina de la química.

Los trabajos de Ramberg (2000, 2015) y de otros autores (Brooke, 1971; Lipman, 1964) han contribuido a cuestionar la imagen de la síntesis de la urea de Wöhler como golpe definitivo a la teoría del vitalismo, apuntando que si bien la aparición de la urea fue inesperada, pues se esperaba que la reacción entre el ácido cianico y el amoníaco produjese una sal (cianato de amonio), el interés tanto de Wöhler como de su maestro, Berzelius, radicó en el hecho de que urea y cianato de amonio tuviesen distintas propiedades, teniendo la misma composición. Ni los propios protagonistas, ni los manuales de química posteriores, discutieron en torno al papel de este experimento en el fin del vitalismo.

El mito se construyó en el seno de la comunidad química a partir de la muerte de Wöhler en 1882, con el fin de proporcionar a la química orgánica un momento fundacional. Ramberg (2015) apunta que los químicos orgánicos alemanes vieron en Wöhler una

figura emblemática nacional muy adecuada para situar en ella los orígenes de la química orgánica.

Frecuentemente, la síntesis de la urea de Wöhler es concebida como el primer paso hacia la unificación de la química orgánica e inorgánica, en la medida en que ambas compartirían las mismas leyes químicas. Sin embargo, mucho antes de la síntesis de la urea, los químicos ya habían asumido este supuesto, promovido por Berzelius (Brooke, 1971; Lipman, 1964).

Asimismo, desde la historia de la ciencia se ha señalado que el vitalismo no era tanto una teoría, sino un conjunto mucho más amplio de ideas sobre la naturaleza. Lo que habitualmente se denomina “teoría del vitalismo” es realmente una visión extrema del mismo. Así, algunos autores del siglo XVIII concibieron la fuerza vital como una fuerza análoga a la gravitación de Newton, que podía ser estudiada y no tanto como un “ente inmaterial”. Según Ramberg (2015), biólogos y fisiólogos también habrían tenido interés en propiciar el mito del fin del vitalismo, a fin de otorgar a sus disciplinas de un mayor estatus científico, alejadas de una fuerza vital inmaterial y situarse en torno a una visión mecanicista y cuantitativa propia de otras ciencias, como la física o la química.

Esta cuestión histórica ofrece numerosas oportunidades para la didáctica de la química. Frente a una visión de la historia de la química en la que experimentos cruciales realizados en fechas clave acaban con saberes y prácticas pretéritas de forma abrupta y definitiva; la síntesis de la urea de Wöhler desde la perspectiva crítica de la historia de la ciencia brinda la oportunidad de valorar la historia de la química como una reconstrucción del pasado más compleja, menos idealizada y en la que confluyen factores que van más allá de lo empírico o experimental, que no han de ser obviados si se quiere comprender la ciencia en su contexto histórico y social.

(d) Además del uso de la balanza, otro de los puntos clave en la imagen de Lavoisier como padre de la química moderna es su papel frente a la teoría del flogisto de Georg E. Stahl, a la que derrotó con firmeza y contundencia, librando a la química de dicha doctrina errónea. Sin embargo, desde los estudios históricos académicos sobre química se cuestionaron dichas imágenes, revelando que la importancia de la teoría del flogisto fue exagerada a tenor de los trabajos de Lavoisier en su contra (Mieli, 1948), lo que implicó un cambio a la hora de valorar dicha teoría en el desarrollo histórico de la química.

Así, mientras que Stahl era presentado como “el más grande y sublime de los químicos” en los manuales de química del siglo XVIII, los libros de texto posteriores a la (primera) revolución química lo presentan como “el causante de un retraso en el desarrollo de la química debido a su errónea teoría del flogisto” (Bertomeu Sánchez y García Belmar, 2006, p. 40).

Asimismo, Lavoisier no “derrotó” al flogisto con firmeza y contundencia (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997). En esta línea, la teoría del flogisto ya había sufrido modificaciones y revisiones antes de los trabajos de Lavoisier, especialmente, debido al estudio de los gases; lo que ya ponía de manifiesto la existencia de importantes limitaciones y grietas en esta teoría.

Respecto al papel de Lavoisier en su demolición, Bertomeu Sánchez y García Belmar (2006) explicaron que Pierre Macquer, tras escuchar la intervención de Lavoisier en la Academia de Ciencias de París en la que se suele considerar que propició el golpe mortal al flogisto, “sintió que se había liberado de un gran peso en su estómago” y que “sus temores sobre un ataque devastador de Lavoisier a la teoría del flogisto habían sido exagerados” (p. 81) . A partir de las palabras de Macquer se sabe que “los cambios sugeridos por Lavoisier se limitaban a considerar la materia del

fuego como una parte constituyente del aire, en lugar de suponer que se trataba de un compuesto esencial de los compuestos combustibles como afirmaba la teoría del flogisto” (p.81).

Los autores también señalaron que el estudio de los cuadernos de laboratorio de Lavoisier de la década de 1770 revela numerosas contradicciones, incoherencias y experimentos inconclusos y que el mismo Lavoisier adoptó la concepción de la calcinación, la combustión y la respiración como procesos que implicaban el desprendimiento del flogisto. Además, apuntaron que muchos químicos de la época consideraron el oxígeno de Lavoisier tan imponderable e hipotético como el propio flogisto.

Frente a las narrativas clásicas, la teoría del flogisto desde los enfoques anteriormente recogidos ofrece más oportunidades para la didáctica de la química. En primer lugar, porque permite valorar la práctica química desde una visión más realista y menos idealizada, al atender a cómo los químicos tuvieron que “aceptar momentos de cierta incoherencia teórica en el curso de sus investigaciones, en las que inevitablemente se mezclan residuos de antiguas explicaciones en vías de desaparición con nacientes interpretaciones en procesos de maduración” (Bertomeu Sánchez y García Belmar, 2006, p. 70).

Además permite reflexionar sobre cómo han de ser valoradas las teorías científicas pretéritas, anteriores a la ciencia actual. Valoración que ha de hacerse en su contexto histórico y social, evitando situaciones contradictorias y confusas derivadas de juzgar teorías pretéritas desde estándares actuales.

Así, Bertomeu Sánchez y García Belmar (2006) señalaron que “analizar la teoría del flogisto desde la química actual lleva a dos conclusiones contradictorias” (p. 45), pues por un lado revela esta teoría como una doctrina totalmente equivocada, por ejemplo, al considerar la calcinación como desprendimiento (de flogisto) cuando realmente implica fijar (oxígeno); pero al mismo tiempo, dicha teoría proporcionó por primera vez una explicación coherente para un grupo de procesos que hoy se interpretan como semejantes (calcinación, fermentación, respiración, combustión) y que anteriormente no se consideraban relacionados entre sí. Frente a esta situación, señalan que:

Resulta mucho más clarificador intentar comprender, por ejemplo, qué novedades y ventajas representaban las ideas de Stahl para sus contemporáneos y cómo fueron asimiladas, reinterpretadas y utilizadas en el contexto de las investigaciones

químicas que tuvieron lugar en esos años. (Bertomeu Sánchez y García Belmar, 2006, p. 45)

(e) Además de la teoría del flogisto, la historia de la química revela una serie de saberes y prácticas que juzgadas desde la química moderna pueden considerarse erróneas e incluso responsables de retrasos conceptuales en el desarrollo de la química. No obstante, valoradas en su contexto, estas prácticas y saberes nos ofrecen la oportunidad de cuestionar la visión ahistórica con la que el conocimiento científico actual suele ser presentado, aprendido o enseñado.

Bensaude-Vincent y Stengers (1997) apuntaron que el origen de las prácticas que hoy denominamos químicas se pierde en la noche de los tiempos, en los albores de la humanidad. En esta línea, la alquimia, la iatroquímica, la docimasia o la chymia serían muestras de este tipo de saberes y prácticas; siendo la alquimia uno de los principales “capítulos previos” a la química moderna en la mayoría de presentaciones históricas de esta ciencia (Parshall et al., 2015). De este modo, la química constituye “una disciplina relativamente joven que nació de la confluencia de varias tradiciones, algunas de ellas milenarias” (García Belmar y

Bertomeu Sánchez, 1999, p. 30). Tradiciones que habrían aportado a la química conocimientos teóricos, prácticos y vocabulario.

Al igual que ocurría con la teoría del flogisto, juzgar prácticas como la alquimia desde la moderna química científica puede conducir a una doble contradicción. Por un lado, la alquimia habría proporcionado a la química numerosas sustancias, materiales de laboratorio y técnicas experimentales; pero al mismo tiempo, implicaba un conjunto de saberes teóricos confusos y erróneos desde la química actual. Frente a esta visión teleológica, se ha apuntado la necesidad de cuestionar la férrea división que en ocasiones se produce entre alquimia y química, evitando ver la segunda como evolución y mejora de la primera a la que sucede y supera; en aras de valorar la alquimia en sus diversos y cambiantes contextos (Parshall et al., 2015).

En esta línea, el lenguaje químico y la historia de la terminología química ofrece una oportunidad privilegiada de interés no solo historiográfico, sino también didáctico. Así, “durante la mayor parte de los siglos XVI y XVII, las palabras *alchymia* y *chymia* se emplearon con un significado semejante y en muchos libros aparecían indistintamente” y fue a finales del siglo XVII cuando “comenzó a limitarse el significado de la palabra alquimia al

arte de obtener oro mientras que la palabra química quedó reservada para el resto de actividades” (García Belmar y Bertomeu Sánchez, 1999, p. 32). Si bien en el siglo XVIII, numerosos autores dirigieron sus críticas a la fabricación alquímica de oro, presentando esta actividad como propia de estafadores y charlatanes; el lenguaje alquímico perduró en la química moderna, llegando incluso a la actualidad.

Por tanto, la terminología química sería todavía hoy una fuente de “huellas de diversas tradiciones que han estado relacionadas con el estudio de la materia y sus transformaciones” (García Belmar y Bertomeu Sánchez, 1999, p. 32). Tradiciones que han de ser valoradas en su contexto y que han de tenerse en cuenta a la hora de abordar la historia de la química lejos de anacronismos y presentismos. Perseguir estas huellas puede constituir una posible línea de interés para la didáctica de la química, tanto en términos motivacionales, como pedagógicos (Moreno Martínez, 2017).

(f) Las ideas sobre la naturaleza y la constitución de la materia, su continuidad y la existencia de átomos (en sus distintas variantes) constituyen saberes que trascienden la química moderna y que

hunden sus raíces en las primeras ideas filosóficas (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997; Pellón González, 2012).

Brock (1967, 2016), Diéguez (1995) y Nye (1972, 1996) llevaron a cabo distintos trabajos de revisión de gran interés en historia de la química en torno a la historia del atomismo anterior y posterior a los trabajos de Dalton, apuntando la existencia de algunos puntos distorsionados en los libros de texto, como la recepción del atomismo daltoniano.

Con anterioridad a los trabajos de Dalton, estos autores destacaron que durante la conformación de la ciencia moderna el atomismo pasó de formar parte de la reflexión filosófica a constituir un recurso explicativo y controvertido para justificar distintos aspectos de la materia y sus transformaciones. Mucho antes de los trabajos de Dalton, los trabajos de autores ampliamente conocidos como Bruno, Gassendi, Boyle o Newton y de otros más desconocidos, como Harriot, Sennert, Jung o Berigard; hicieron uso del atomismo en diversos contextos y con visiones diversas.

En la historia de la química, los alquimistas consideraron que los elementos (bien los cuatro elementos de la teoría aristotélica o los tres principios de las ideas paracelsianas) constituían pequeñas partículas que se combinaban para formar los cuerpos. Boyle, con

sus estudios de los gases y Newton, de las fuerzas, intentaron introducir el atomismo como hipótesis para la explicación de fenómenos experimentales, aunque con éxito poco destacado. El estudio de la obra de estos y otros autores, si bien excede los objetivos de la presente investigación, revela cómo las ideas atomistas no pueden concebirse de forma descontextualizada, pues la idea de átomo sufrió diversas modificaciones a lo largo de la historia de la humanidad y de la química.

Atendiendo al atomismo con posterioridad a Dalton, Diéguez (1995) apuntó que “a pesar de lo que puede inferirse de algunas historias superficiales de la química, la teoría de Dalton estuvo lejos de alcanzar una aceptación general, especialmente en lo que a su concepción de átomo se refiere” (p. 5). El autor señaló que el uso de la palabra “átomo” fue ambiguo en aquel contexto, pues servía tanto para hacer referencia a las partículas simples de los elementos, como a las partículas de los compuestos que resultaban de la combinación química de los primeros.

Frente a la visión de los trabajos de Dalton como un punto de inflexión contundente en la historia de la química, Diéguez (1995) subrayó que “la mayor parte de los químicos a comienzos del siglo XIX asumían algún tipo de teoría corpuscular sobre la materia, pero

no pensaban considerar estas teorías como hipótesis metafísicas” (p. 6). Es decir, se aceptaba el atomismo químico (el átomo como unidad fundamental en las reacciones químicas), pero no el atomismo físico (el átomo como corpúsculo material) (Izquierdo Aymerich, 2010). A lo largo de todo el siglo XIX y hasta principios del siglo XX se mantuvo la tensión entre un atomismo real y un atomismo explicativo; de modo que buena parte de la comunidad química utilizaba el término átomo como “recurso didáctico para explicar ciertos hechos experimentales, pero sin comprometerse con su existencia” (Diéguez , 1995, p. 8).

Esta historia del atomismo encierra múltiples potencialidades para la didáctica de la química pues lejos de la cuestión de si los átomos existían o no para determinados químicos o en determinados contextos, ofrece la oportunidad de pensar cómo el concepto de átomo era conveniente y útil para la interpretación de los fenómenos de la naturaleza a lo largo de la historia y cómo los conceptos fundamentales de la química han tenido significados cambiantes, sujetos a controversias.

En definitiva, ayuda a valorar la ciencia como una actividad humana que a lo largo de su historia ha empleado distintos modelos explicativos de la realidad, más allá de la evolución de los modelos

atómicos, que como se ha indicado con anterioridad en el presente capítulo, constituyen aspectos ampliamente tratados en los libros de texto, aunque con falsedades históricas.

(g) Frente a la historia de los modelos atómicos, la historia de las distintas teorías y modelos de enlace químico constituye un área menos explorada por la didáctica de la química; pese a que en los últimos años se han realizado interesantes trabajos de revisión de estas cuestiones.

En 2016 se celebró el centenario de la publicación del artículo *The Atom and the molecule* publicado por Lewis en el *Journal of the American Chemical Society*, publicación considerada como el primer esquema satisfactorio sobre el enlace químico (Aragón de la Cruz, 2016). El profesor Aragón de la Cruz realizó en 2016 un interesante trabajo en el que recopilaba las principales contribuciones de Lewis a la química, apuntando cómo su modelo del átomo cúbico fue diseñado en el transcurso de sus clases a fin de explicar la valencia de los elementos a sus alumnos.

Niaz (2016), Gavroglu y Simoes (2012) han señalado la importancia de atender a los procesos de difusión, apropiación y popularización de las ideas de Lewis, llevadas a cabo por otros

protagonistas, como Irving Langmuir, quien introdujo el término covalencia en otro artículo publicado en el *Journal of the American Chemical Society*, tres años después de Lewis. En esta línea, Chamizo (2005) apuntó que Langmuir extendió el modelo de Lewis al considerar un modelo en el que los elementos ocupaban pequeñas celdas dentro de capas esféricas concéntricas. Al ser las capas de igual grosor, los radios de las capas esféricas guardaban una relación de 1:2:3:4, por lo que la relación de sus áreas era de 1:22:32:44, esto es: 1:4:9:16 o lo que es lo mismo: 2:8:18:32, lo que correspondía a los números atómicos de los gases nobles.

Asimismo, aunque en ocasiones se indica que el modelo cúbico del átomo de Lewis fue desplazado por el modelo de Bohr, Niaz (2016) ha apuntado recientemente la necesidad de señalar que en el periodo 1916-1923 Lewis se dedicó a tratar de conciliar su modelo cúbico del átomo con el modelo de Bohr. Este aspecto es especialmente importante pues, por un lado muestra cómo los modelos científicos no se suceden linealmente, sino que existen periodos de convivencia de los mismos.

Por otro lado, ilustra cómo el inicio del siglo XX fue un periodo confuso en cuanto al estudio de las uniones entre átomos,

algo señalado por Palmer (1965), quien recupera las palabras de Harold Robinson en la *Faraday Society Meeting* de 1923:

Hoy parece que vivimos en un periodo de transición del conocimiento comparable a las décadas de los años cuarenta y cincuenta del siglo pasado, y dentro de dos o tres generaciones los químicos contemplarán retrospectivamente la confusión actual con los mismos sentimientos que nosotros experimentamos cuando contemplamos esa época. (Moreno Martínez, 2015, p. 50)

Otra cuestión de interés en torno a la historia de las uniones químicas estudiada por Shaik y Hiberty (2008) y recientemente recuperada por Niaz (2016) la constituye las relaciones entre la Teoría del Enlace de Valencia (TEV) y la Teoría de Orbitales Moleculares (TOM). Estos autores han señalado que si bien muchos libros de texto de química señalan el paramagnetismo de la molécula de dioxígeno como principal limitación de la TEV frente a la TOM, obvian que Pauling -que se opuso a la incorporación de la TOM a los libros de texto de química- proporcionó una explicación del paramagnetismo de dicha molécula diatómica basada en la TEV, asumiendo dos enlaces de tres electrones entre sus átomos.

A tenor de los aspectos recogidos anteriormente es posible identificar al menos dos puntos por los que la historia de las uniones entre átomos esbozada es de interés didáctico. En primer lugar, por poner de manifiesto el carácter tentativo de la química, mostrando también su relación con otras ciencias, como la física. Así, la historia de las uniones entre átomos a partir del átomo cúbico de Lewis habría sido también la historia de la adaptación de los modelos de la física a la cultura visual de la química.

En segundo lugar, por permitir la reflexión crítica en torno a los modelos históricos como modelos didácticos en la enseñanza de las ciencias, frente al empleo de modelos híbridos; que contribuirían a distorsionar la historia de la ciencia en aras de facilitar la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Si bien una discusión detallada de esta cuestión excedería los objetivos de esta tesis doctoral, se puede apuntar que con independencia del uso de modelos estrictamente históricos o de modelos híbridos, un mayor conocimiento histórico de la química redundará en un beneficio de la didáctica de esta ciencia; bien para la contextualización de los primeros, bien para la elaboración de los segundos por transposición didáctica de los primeros (Chamizo, 2005; Justi, 2006).

(h) Las mujeres constituyen figuras invisibles e invisibilizadas en la historia de la ciencia, cuyas clásicas narrativas se han centrado en una ciencia hecha por científicos. Esta invisibilidad es, como mínimo, doble. En primer lugar, por constituir las científicas una minoría entre los protagonistas de la historia de las ciencias. En segundo lugar, por no ser las relaciones ciencia y género una cuestión prioritaria en dichas narrativas. En los últimos años, numerosos trabajos han contribuido a corregir esta doble invisibilidad, a tenor de la confluencia entre los estudios de género y la historia social y cultural de las ciencias de las últimas décadas (Fara, 2014; Fox Keller, 1995; Jordanova, 1993; Schiebinger, 1990, 2004; Watts, 2007), yendo más allá de la necesaria recopilación del nombres y de la biografía de numerosas mujeres de ciencias. Además, estos trabajos han cuestionado la forma en que ciertas científicas han sido presentadas a lo largo de la historia y pensado críticamente las relaciones ciencia y género en perspectiva histórica.

En relación al primer aspecto y para el caso de la historia de la química, cobra especial importancia la revisión historiográfica del papel de Anne Marie Paulze, Madame Lavoisier, en la (primera) revolución química. Los historiadores de la ciencia Bertomeu-Sánchez y García Belmar (2006) hicieron una interesante reflexión

en torno a química y género a partir de la figura de Anne Marie Paulze en el célebre pintura de 1788 de Jacques-Louis David en la que aparece el matrimonio Lavoisier, imagen que ilustra la cubierta de esta tesis doctoral. Si bien esta imagen ha sido ampliamente utilizada como icono visual y emblemático de la revolución química, clásicamente capitaneada por Lavoisier; Bertomeu Sánchez y García Belmar invitan a realizar una mirada distinta a esta obra de arte, desde la óptica de la historia de las mujeres en la química.

Si bien Anne Marie aparece tras su marido, denotando una figura de fiel ayudante; también ocupa una posición central en el cuadro, lo que indica una personalidad original. Según los autores, “la mayor parte de los estudios históricos se han limitado a estudiar la actividad de Madame Lavoisier como colaboradora de su marido” (Bertomeu Sánchez y García Belmar, 2006, p. 243), destacándose su labor como traductora, dibujante y organizadora de tertulias y reuniones en torno a temas científicos de la época.

Sin embargo, la amplia labor de Anne Marie no puede entenderse sin otorgarle un profundo conocimiento de la química de su época y un papel activo en los debates teóricos y metodológicos. De ahí que se haya apuntado que “sería conveniente que en el futuro

se prestara más atención a la vida y obra de Madame Lavoisier, así como a la de muchas mujeres que jugaron un papel relevante en la química del siglo XVIII” (Bertomeu Sánchez y García Belmar, 2006, p. 245).

Respecto a pensar críticamente las relaciones ciencia-género, la historiadora de la ciencia Londa Schiebinger señaló en 2004 que “al enterrar el género en la ciencia, la cultura europea perdió parte de su pasado” y reivindicó que “es hora de desenterrar esa historia; es hora de transformar la ciencia y la sociedad para que el poder y el privilegio ya no se distribuyan con arreglo al género” (Schiebinger, 2004, p.397). Diez años más tarde, la cuestión ciencia y género seguía siendo uno de los puntos pendientes de la investigación en educación científica desde la historia y la filosofía de la ciencia, tal y como recogió Matthews (2014) en el *International Handbook of research in History, Philosophy and Science Teaching*, citado al inicio del presente capítulo. Por todo ello, visibilizar a las mujeres en la historia de la química constituye un desafío en el que la didáctica de las ciencias ha de tomar parte (Vázquez Alonso y Manassero Mas, 2003). Algo que trasciende del ámbito científico y que se erige como un reto actual en el marco educativo y social (López Navaja, 2012).

(i) Cuando se dirige la mirada a la pintura del matrimonio Lavoisier, también es posible apreciar la presencia de una serie de aparatos e instrumentos científicos como un barómetro, un gasómetro o un gran balón de destilación. Esto permite introducir la reflexión en torno a los instrumentos científicos en las narrativas sobre historia de la química. De clásicos elementos decorativos o meros útiles que permiten al científico obtener datos experimentales, a elementos clave sujetos a controversias; el estudio de los instrumentos científicos se ha erigido como una línea de investigación de gran interés en historia de la ciencia en las últimas décadas (Bertomeu Sánchez y García Belmar, 2002; Hankins y Helden, 1994; Heering, 2009; Matthews et al., 2006; Simon et al., 2005), también de interés para la educación científica. Los instrumentos científicos constituyen valiosos recursos para comprender diversos aspectos conceptuales y materiales de la ciencia en diferentes contextos históricos.

Si bien abordar las potencialidades de los instrumentos científicos para la didáctica de la química va más allá de los objetivos que persigue esta tesis doctoral, cabe señalar que, a tenor de los trabajos anteriormente citados, los instrumentos científicos permitirían aprender química, pero también, aprender sobre

química; abordando desde un punto de vista crítico el papel que los instrumentos desempeñaron en la historia de la ciencia, las controversias asociadas a los mismos, su papel en el marco de las prácticas científicas de la época, la dificultad de obtención de resultados experimentales, la relevancia (muchas veces ignorada o minimizada) de la selección de datos o las relaciones química-sociedad a partir de los instrumentos, elementos fundamentales de la cultura material de la ciencia en general y de la química en particular.

Tras la exposición de estas perspectivas y estudios de interés para la investigación que se presenta, cabe concluir el presente capítulo aludiendo a las preguntas de Niaz (2016) con las que el mismo se iniciaba: Si la importancia de la historia y la filosofía de la ciencia (en particular, de la química) para la educación química fue reconocida desde las primeras décadas del siglo XX, ¿por qué todavía hoy debatimos su incorporación en el currículo y en los libros de texto? ¿Cómo podríamos explicar que la aproximación histórica haya sido desatendida por los libros de química actuales?

La mayor comodidad que suponen las clásicas narrativas históricas -que evitan conflictos y controversias científicas- para

profesores y autores de libros de textos o el rechazo del alumnado a las mismas -por considerar la historia de la ciencia como algo irrelevante y ajeno a la propia ciencia- han sido algunas de las respuestas planteadas por Niaz (2016).

Estas preguntas reflejan cómo el análisis de la historia de la química en el currículo y en los libros de texto actuales constituye una tarea pendiente, planteando a su vez una pléyade de preguntas, tales como qué historia de la química está presente en el currículo y en los libros de texto, cómo y para qué. Cuestiones a las que, como se verá, la presente tesis doctoral pretende contribuir en el marco educativo español correspondiente a la LEY ORGÁNICA 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOE), la cual será objeto de estudio y revisión en el siguiente capítulo

Capítulo 2. La historia de la química en el marco LOE.

Una mirada interdisciplinar al currículo de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato

“Si bien la historia de la ciencia presenta sombras que no deben ser ignoradas, lo mejor de la misma ha contribuido a la libertad del pensamiento y a la expresión de los derechos humanos”.

REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, p. 6

Parte de los aspectos tratados en este capítulo han sido publicados en: Moreno Martínez, L. y Calvo Pascual, M. A. (2017). La historia de la química en el currículo de ESO y de Bachillerato (LOE). Una revisión interdisciplinar para la investigación didáctica. *Enseñanza de las ciencias*, 35(2), 147-160.

Estructura del capítulo:

2.1 Introducción

2.2 La historia de la química en el currículo LOE de ESO

2.3 La historia de la química en el currículo LOE de Bachillerato

2.4 La historia de la química en el currículo LOE de Física y Química de ESO y Bachillerato de la Comunidad de Madrid

2.1 Introducción

El sexto artículo de la LEY ORGÁNICA 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOE) define el currículo como el conjunto de objetivos, competencias básicas, contenidos, métodos pedagógicos y criterios de evaluación de cada una de las distintas enseñanzas. En el caso de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO), los elementos curriculares directamente relacionados con la química los encontramos principalmente en la materia de Física y Química de tercer y cuarto curso. Para Bachillerato, los aprendizajes del área de química los encontramos en las materias de Física y Química de primer curso y de Química de segundo curso. La revisión del currículo de química de ESO y Bachillerato exige, por tanto, atender a las materias anteriormente citadas. Sin embargo, tal y como se ha señalado en el capítulo anterior, incorporar la historia de

la ciencia a los contextos educativos (en este caso, al ámbito curricular) permite crear un marco de diálogo entre las distintas materias científico-tecnológicas (como Física, Biología y Geología, Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Tecnología o Matemáticas), pero también entre estas y materias humanístico-sociales (como Lengua Castellana y Literatura, Latín, Griego, Ciencias Sociales, Historia y Cultura de las Religiones, Educación para la Ciudadanía y los Derechos Humanos, Educación Ético-Cívica, Filosofía y Ciudadanía o Historia de la Filosofía), algo especialmente necesario dado el carácter compartimentado y estanco de los currículos escolares.

No se han incluido en esta revisión materias del ámbito de las artes o de la actividad física y el deporte por no existir elementos curriculares específicos asociados a la historia de la ciencia en dichas materias (con la excepción de Historia del Arte). No obstante, esto no significa que la historia de la ciencia y en particular, la historia de la química, no pueda actuar como nexo curricular entre dichas áreas y las ciencias, como la química. Tal y como se señalará más adelante, a nivel competencial y para la etapa de ESO, la competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico es abordable desde las distintas materias, sean o no del

ámbito científico; lo que ofrece una interesante oportunidad para una colaboración educativa interdisciplinar. Tampoco se han incluido otras lenguas oficiales del territorio español ya que, al igual que las materias optativas, son competencia de las distintas Comunidades Autónomas, que fijan sus elementos curriculares. Por ello, al pretender esta tesis una revisión genérica del marco LOE, no se han considerado dichas materias lingüísticas ni las materias optativas, a excepción de la materia de Geología de segundo curso de Bachillerato para la Comunidad de Madrid, que a diferencia de Biología, Física o Química no constituye una materia de modalidad del Bachillerato de Ciencias y Tecnología.

Aunque la revisión curricular realizada se ha enmarcado en un marco LOE generalizable a todo el Estado Español, se ha considerado oportuno incluir un epígrafe referente al currículo de Física y Química de ESO y de Bachillerato (Química en segundo curso de Bachillerato) para la Comunidad de Madrid por dos motivos. En primer lugar, a fin de constituir el marco teórico de posibles futuras investigaciones encaminadas a explorar los usos docentes de la historia de la química en las aulas madrileñas. En segundo lugar, debido a que las ediciones y proyectos editoriales de los libros de texto analizados dentro del estudio empírico de la

presente tesis doctoral son utilizados en dicha comunidad; pudiendo existir variaciones editoriales de los mismos (más o menos significativas) en otras comunidades autónomas.

Es por ello que la revisión del currículo realizada no se ha centrado únicamente en localizar aquellos objetivos, competencias, contenidos o criterios de evaluación directamente relacionados con la historia de la química en las materias de Física y Química, sino que también se ha llevado a cabo una revisión del resto de materias del currículo LOE de ESO y de Bachillerato, tanto del ámbito de las ciencias y la tecnología, como de las humanidades, las ciencias sociales y la filosofía. De este modo, la revisión del currículo realizada pretende propiciar una mirada al currículo más allá de las divisiones disciplinares, mostrando cómo la historia de la química en el marco educativo, al menos en un marco normativo, constituye una oportunidad valiosa de colaboración para las distintas materias.

Antes de abordar las referencias a la historia de la química en el currículo, cabe matizarse qué se han entendido como tales. Así, además de las referencias a episodios pretéritos de la química científica y de saberes y prácticas históricamente anteriores, se han considerado referencias a la historia de la química aquellas alusiones directas a la historia de la ciencia y de la técnica que

guardan relación con la química, bien por constituir episodios que la historia de la química tradicionalmente comparte con otras disciplinas, como la historia de la biología o de la tecnología (descubrimiento del ADN, desarrollo de materiales...); o bien por incidir en cuestiones que en determinados contextos históricos hoy se consideran relacionadas con la historia de la química, como algunos aspectos propios de la historia de la filosofía o la historia general (primeras ideas sobre la materia en la Grecia clásica, impacto científico-tecnológico en la historia contemporánea...), entre otros.

No obstante, cabe destacar que, tal y como se señaló en el capítulo anterior, aunque esta tesis se centra en la historia de la química, esta no se ha de entender como la evolución histórica de las ideas y prácticas de esta disciplina científica en exclusiva, sino que ha de valorarse desde una óptica más amplia e integrada en una historia de la ciencia que atiende a aspectos sociales, políticos, lingüísticos o económicos, entre otros. En definitiva, superando el debate entre visión interna o visión externa y las líneas divisorias entre disciplinas científicas. Esta visión de la historia de la química es la que se ha adoptado durante el desarrollo del estudio empírico de esta tesis doctoral, el cual retomará esta revisión del currículo,

entendiendo este no como marco de referencia normativo (como corresponde a un marco teórico inscrito en la investigación educativa), sino como objeto de estudio.

2.2 La historia de la química en el currículo LOE de ESO

En el primer ciclo de ESO, Ciencias de la Naturaleza es una de las materias más profundamente relacionadas con la adquisición de la competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico (en ocasiones denominada “competencia científica”), competencia que expresa en su propia definición y para toda la etapa de ESO, la importancia de la historia en el marco de la investigación científica. Esto permite señalar la historia de la ciencia como un elemento fundamental e intrínseco de la “competencia científica” del currículo LOE de Educación Secundaria Obligatoria (para las enseñanzas de Bachillerato, el currículo LOE no establece competencias), el cual recoge la importancia de “reconocer la naturaleza, fortalezas y límites de la actividad investigadora como construcción social del conocimiento a lo largo de la historia” (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, p. 687).

Ciencias de la Naturaleza contribuye también a la adquisición del resto de competencias, entre las que cabe destacar la competencia social y ciudadana:

El conocimiento de cómo se han producido determinados debates que han sido esenciales para el avance de la ciencia, contribuye a entender mejor cuestiones que son importantes para comprender la evolución de la sociedad en épocas pasadas y analizar la sociedad actual. Si bien la historia de la ciencia presenta sombras que no deben ser ignoradas, lo mejor de la misma ha contribuido a la libertad del pensamiento y a la expresión de los derechos humanos. (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, p. 692)

De este modo, dado que la competencia social y ciudadana para Educación Secundaria Obligatoria incluye la comprensión de la realidad histórica y social del mundo, su evolución, sus logros y sus problemas; su adquisición desde la materia de Ciencias de la Naturaleza refuerza la relevancia competencial de la historia de la ciencia en el currículo. Asimismo, el currículo de ESO para Ciencias de la Naturaleza recoge que “los contenidos asociados a la forma de construir y transmitir el conocimiento científico constituyen una oportunidad para el desarrollo de la competencia

para aprender a aprender” (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, p. 692). En este punto, cabe destacar que la competencia "aprender a aprender” implica favorecer que el estudiante disponga de habilidades para iniciarse en el aprendizaje, promoviendo que aprenda cada vez de forma más autónoma, siendo consciente de sus propias capacidades y carencias. Entre las habilidades asociadas a esta competencia se encuentra que el alumno sea capaz de buscar información y transformarla en conocimientos de forma eficiente (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, pp. 689-690).

Ambas competencias están profundamente ligadas a la historia de la ciencia, dada la capacidad de esta para mostrar cómo se ha construido el conocimiento científico y sus implicaciones sociales. En esta línea, cabe destacar que uno de los objetivos de Ciencias de la Naturaleza para toda la etapa de ESO (incluyendo Física y Química y Biología y Geología en el segundo ciclo de ESO) recoge que el estudiante ha de:

Reconocer el carácter tentativo y creativo de las Ciencias de la Naturaleza, así como sus aportaciones al pensamiento humano a lo largo de la historia, apreciando los grandes debates superadores de dogmatismo y las revoluciones científicas que han marcado la evolución cultural de la humanidad y sus

condiciones de vida. (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, p. 693)

Si bien la historia de la ciencia está presente significativamente a nivel competencial en el currículo de Ciencias de la Naturaleza, desempeña un papel minoritario en el resto de elementos curriculares, a excepción del bloque de contenidos dedicado a la Tierra y el Universo , “el paso del geocentrismo al heliocentrismo como primera y gran revolución científica” (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, p. 693) y de un criterio de evaluación específico en el que se indica la importancia de que el alumno conozca “la influencia de la religión en la historia de la ciencia” (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, p. 694). Por el contrario, no existen contenidos específicos sobre historia de la química en Ciencias de la Naturaleza ni de primer ni de segundo curso.

Sin embargo, dado que esta materia actúa como sustrato para la materia de Física y Química de tercer curso de ESO, se ha considerado relevante conocer, si no la historia de la química (por no estar presente), al menos la historia de la ciencia presente en el currículo de Ciencias de la Naturaleza de primer ciclo de ESO. A partir de tercer curso, al existir una asignatura específica de

química, se atenderá a elementos curriculares (objetivos, criterios de evaluación, contenidos...) principalmente relacionados con la historia de la química. Como se verá, esta ausencia de elementos curriculares íntimamente relacionados con la historia de la química en el primer ciclo de ESO ha conducido a que el estudio empírico de la presente tesis doctoral se haya restringido al segundo ciclo de ESO y a Bachillerato. No obstante, no por ello quedaría la historia de la química excluida de primer y segundo curso de ESO; ya que si bien no se fijan determinados objetivos, contenidos o criterios de evaluación sobre historia de la química, el papel otorgado, de forma general, a la historia de la ciencia tanto a nivel de competencia como de objetivo, permitiría al docente abordar aprendizajes propios de la química (presentes en Ciencias de la Naturaleza de segundo curso de ESO para el primer ciclo de ESO y en Física y Química, en el segundo ciclo) desde la historia de la química.

Para segundo ciclo de ESO, Ciencias de la Naturaleza se desdobra en Biología y Geología y Física y Química. En tercer curso existe un criterio de evaluación para ambas materias en el que se pretende evaluar si el estudiante concibe la ciencia como una actividad humana colectiva en construcción:

Se pretende evaluar si se tiene una imagen del trabajo científico como un proceso en continua construcción, que se apoya en los trabajos colectivos de muchos grupos, que tiene los condicionamientos de cualquier actividad humana y que por ello puede verse afectada por variables de distinto tipo. (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, p. 697)

Esta visión de la ciencia implica, de nuevo, una visión histórica del trabajo científico que incluye, por tanto, la química. Para la materia de Física y Química de tercer curso encontramos varias referencias curriculares a la historia de la química. Uno de los criterios de evaluación especifica la importancia de comprobar que el alumno comprende los primeros modelos atómicos (modelos de Thomson y Rutherford, según especifican los contenidos) y justifica el paso de uno a otro:

Se trata de comprobar que el alumno comprende los primeros modelos atómicos, por qué se establecen y posteriormente evolucionan de uno a otro, por ejemplo cómo el modelo de Thomson surge para explicar la electroneutralidad habitual de la materia. (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, p. 697)

Entre los criterios de evaluación de la materia de Física y Química de cuarto curso se incluye el origen de la química orgánica o química del carbono con la síntesis de los primeros compuestos orgánicos, “deberá comprobarse que comprenden (...) el logro que supuso la síntesis de los primeros compuestos orgánicos frente al vitalismo en la primera mitad del siglo XIX” (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, p. 700).

La materia de Biología y Geología de cuarto curso de ESO incluye entre sus contenidos el estudio del ADN y “la valoración de su descubrimiento en la evolución posterior de las ciencias biológicas” (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, p. 700); un nexo curricular que liga la historia de la biología con la historia de la química.

Otra de las materias de ESO relacionadas con la ciencia y también con la química es Tecnologías. En la descripción de esta materia se hace referencia indirecta a la historia de la ciencia al relacionar los avances de la ciencia con el contexto en el que se produjeron: “Los avances científicos han influido en las condiciones de vida del ser humano adaptándose a sus costumbres y creencias de la sociedad en la que se han desarrollado” (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, p. 766).

En la materia de Tecnología de cuarto curso de ESO existe un bloque de contenidos denominado tecnología y sociedad en el que se indica que los alumnos han de valorar el desarrollo tecnológico a lo largo de la historia. Además, existe un criterio de evaluación específico para abordar este aspecto:

Conocer la evolución tecnológica a lo largo de la historia.
Analizar objetos técnicos y su relación con el entorno y valorar su repercusión en la calidad de vida. Con este criterio se pretende valorar la elaboración de juicios de valor frente al desarrollo tecnológico a partir del análisis de objetos técnicos. Se trata también de establecer la capacidad de relacionar inventos y descubrimientos con el contexto en el que se desarrollan interpretando las modificaciones tecnológicas, económicas y sociales en cada periodo histórico. (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, p. 771)

A este respecto, la historia de la química puede ofrecer numerosos episodios históricos de interés. Tanto más al tener en cuenta que en la materia de Tecnologías se abordan aprendizajes íntimamente relacionados con la química, tales como los relacionados con características y tipos de materiales, como madera,

metales, materiales plásticos, cerámicos y pétreos (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, p. 769).

En el caso de la materia de Matemáticas de ESO, uno de los objetivos destaca “valorar las matemáticas como parte integrante de nuestra cultura, tanto desde un punto de vista histórico como desde la perspectiva de su papel en la sociedad actual” (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, p. 752)”, lo cual introduce la historia como un elemento fundamental que puede relacionar las matemáticas con otras disciplinas, como la química.

El currículo establece que la comprensión lectora y la composición y elaboración de textos ha de abordarse desde la materia de Física y Química, lo que se puede lograr introduciendo textos científicos de distintos tipos y, entre estos, textos históricos sobre ciencia. Este hecho queda reflejado en el currículo cuando se establece que la materia de Ciencias de la Naturaleza (incluyendo Biología y Geología y Física y Química) contribuye a la competencia en comunicación lingüística a través de dos vías:

Por una parte, la configuración y la transmisión de las ideas e informaciones sobre la naturaleza pone en juego un modo específico de construcción del discurso, dirigido a argumentar o a hacer explícitas las relaciones, que solo se logrará adquirir

desde los aprendizajes de estas materias. El cuidado en la precisión de los términos utilizados, en el encadenamiento adecuado de las ideas o en la expresión verbal de las relaciones hará efectiva esta contribución. Por otra parte, la adquisición de la terminología específica sobre los seres vivos, los objetos y los fenómenos naturales hacen posible comunicar adecuadamente una parte muy relevante de la experiencia humana y comprender suficientemente lo que otros expresan sobre ella. (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, p. 692)

Asimismo, en la materia de Lengua Castellana y Literatura, de carácter obligatorio en toda la etapa de ESO, se incluyen contenidos sobre la comprensión de textos académicos de carácter explicativo y expositivo, lo que permitiría la incorporación de textos científicos, de interés para Física y Química, dando lugar a la introducción de textos históricos sobre ciencia en el aula de Lengua.

Respecto a la materia de Lengua Extranjera en ESO, encontramos nexos curriculares similares a los de la materia de Lengua Castellana y Literatura en lo referente a trabajar diversos tipos de textos. Uno de esos nexos curriculares con la historia de la ciencia (y de la química) lo encontramos entre los contenidos del bloque “aspectos socio-culturales y consciencia intercultural”:

“conocimiento de acontecimientos culturales diversos de tipo histórico, aspectos geográficos o literarios, obteniendo la información por diferentes medios, entre ellos internet y otras tecnologías de la información y la comunicación” (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, pp. 744, 746) para primer, segundo y cuarto curso de ESO y “conocimiento de los elementos culturales más significativos del país donde se habla la lengua extranjera: literatura, arte, música, cine...” (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, pp. 747) para tercer curso.

La materia de Ciencias Sociales (Geografía e Historia), de carácter obligatorio para el alumnado desde primer a cuarto curso de ESO, hace referencia a distintos aspectos de la sociedad, la cultura, el arte, la economía o la política a lo largo de la historia de la humanidad. Si bien la ciencia, así como los saberes y prácticas con ella relacionados, han constituido elementos relevantes para comprender la sociedad en distintos contextos históricos, la historia de la ciencia no es abordada en el currículo de la materia de Geografía e Historia, a diferencia de otras “historias específicas” tales como la historia del arte, la historia económica o la historia política. Una posible oportunidad para imbricar la historia de las ciencias (entre ellas, la química) en la materia de Ciencias Sociales

a nivel curricular sería incluirla para reforzar la contribución de esta materia a la adquisición de la competencia en el conocimiento e interacción del mundo físico. No obstante, la LOE restringe la contribución de la materia de Ciencias Sociales a la “competencia científica” al ámbito de la Geografía, destacando el papel que dicha disciplina desempeña para el conocimiento de nuestro entorno (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, p. 703).

No obstante, en la medida en que el conocimiento científico (y por ende, el conocimiento químico) sea considerado como un constructo histórico, social y cultura, algo que han señalado los propios historiadores (Fara, 2014), la historia de la química tendría cabida a nivel curricular en la materia de Geografía e Historia.

Esta ausencia de la historia de la ciencia en el currículo de Ciencias Sociales, Geografía e Historia en ESO se sitúa en la línea apuntada por el historiador de la ciencia José Manuel Sánchez Ron para el caso de las enseñanzas universitarias, al apuntar que la historia de la ciencia y de la tecnología tienen “una escasa acogida y papel en nuestras Facultades de Historia” (Sánchez Ron, 2008, p.133).

No obstante, sí sería posible imbricar algunos aspectos propios de la historia de la ciencia en Ciencias Sociales, desde aspectos

historiográficos (análisis de personajes, textos y espacios relacionados con la ciencia) a episodios históricos en los que la ciencia en general y la química en particular son especialmente relevantes (el papel del fuego en los primeros momentos de la humanidad, la industria química como actividad económica, el papel de la química en la Primera Guerra Mundial...); superando de este modo la invisibilidad de la historia de la ciencia en el currículo de Geografía e Historia.

Tampoco se encuentran referencias explícitas a la evolución histórica y la repercusión social del conocimiento químico en la materia de Educación para la Ciudadanía y los Derechos Humanos ni en Educación Ética-Cívica, pese a que la química ha generado a lo largo de su historia controvertidos y significativos debates éticos y sociales. Por ejemplo, la aparente dicotomía entre “lo natural” y “lo artificial” o los malos y los buenos usos de la química constituyen aspectos de la historia de la química de especial interés en estas materias, a la par que se fomenta la conexión entre ciencia y filosofía (Bensaude-Vincent y Simon, 2008).

La conexión entre historia de la ciencia (y por ende, de la química), filosofía y ética también está latente en la cita que da inicio a este capítulo, extraída del currículo LOE de ESO para la

contribución de la materia Ciencias de la Naturaleza de primer ciclo de ESO a la competencia social y ciudadana: “Si bien la historia de la ciencia presenta sombras que no deben ser ignoradas, lo mejor de la misma ha contribuido a la libertad del pensamiento y a la expresión de los derechos humanos” (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, p. 692).

También cabe destacar la materia Historia y Cultura de las Religiones, alternativa a la materia de Religión. A diferencia de Historia y cultura de las religiones, el currículo de la materia de Religión (tanto religión católica como el resto de confesiones religiosas con las que el Estado Español ha establecido acuerdos en materia educativa) no se fija en la LOE, sino que es elaborado por las correspondientes jerarquías y autoridades eclesiásticas, tal y como se establece en el sexto punto de la disposición adicional segunda del REAL DECRETO 1631/2006 (BOE núm. 5, p. 684).

Para cuarto curso de ESO, Historia y cultura de las religiones incluye un bloque de contenidos específicos dedicado a las religiones y el pensamiento científico y filosófico, destacando las “interrelaciones entre ambos ámbitos” y las “coincidencias y diferencias en la interpretación del mundo” (REAL DECRETO 1631/2006, BOE núm. 5, p. 773). Considerando que, tal y como se

ha señalado anteriormente, es también en cuarto curso de ESO cuando se abordan las disputas en torno al vitalismo en la materia de Física y Química, encontramos un posible punto de encuentro curricular de interés entre historia de la química e historia de las religiones.

2.3 La historia de la química en el currículo LOE de Bachillerato

Dos de los objetivos de la materia de Física y Química de primer curso de Bachillerato están profundamente ligados a la historia de la ciencia:

Conocer los conceptos, leyes, teorías y modelos más importantes y generales de la física y la química, así como las estrategias empleadas en su construcción con el fin de tener una visión global del desarrollo de estas ramas de la ciencia y de su papel social. (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45446)

Reconocer el carácter tentativo y creativo del trabajo científico, como actividad en permanente proceso de construcción, analizando y comparando hipótesis y teorías contrapuestas a fin de desarrollar un pensamiento crítico, así como valorar las

aportaciones de los grandes debates científicos al pensamiento humano. (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45446)

En esta línea, cabe destacar la existencia de un criterio de evaluación genérico directamente relacionado con la historia de la ciencia, común para las áreas de física y de química: “se precisan actividades de evaluación que incluyan el interés de las situaciones, análisis cualitativos, emisión de hipótesis fundamentadas (...), teniendo en cuenta el papel de la historia de la ciencia, etc.” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45447).

Además, esta materia incluye varios temas propios de la historia de la química entre sus contenidos y criterios de evaluación. Entre los contenidos se incluye la evolución histórica de los modelos atómicos: “Primeros modelos atómicos: Thomson y Rutherford. Distribución electrónica en niveles energéticos. Los espectros y el modelo atómico de Bohr. Introducción cualitativa al modelo cuántico” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45447).

Estos aprendizajes curriculares están profundamente ligados a que el alumno valore el carácter tentativo y abierto del trabajo científico, lo cual se recoge en uno de los criterios de evaluación:

Se pretende comprobar si el alumno es capaz de identificar qué hechos llevaron a cuestionar un modelo atómico y a concebir y adoptar otro que permitiera explicar nuevos fenómenos, reconociendo el carácter hipotético del conocimiento científico, sometido a continua revisión. También se valorará si es capaz de explicar el sistema periódico y su importancia para el desarrollo de la química. (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45448)

Dicho criterio de evaluación revela que, además de la evolución histórica de los modelos atómicos, el alumno ha de conocer la historia del sistema periódico, lo que no se explicita en los contenidos curriculares. De ahí la importancia de una revisión curricular que no atienda únicamente a los contenidos. Otros elementos curriculares, como los criterios de evaluación en este caso, pueden revelar, además de determinados usos didácticos otorgados a la historia de la química, ciertos aprendizajes curriculares que de otro modo no serían tenidos en cuenta.

Entre los contenidos encontramos aprendizajes relacionados con la historia de la química corresponde a la revisión y profundización de la teoría atómica de Dalton, atendiendo a la “interpretación de las leyes básicas asociadas a su establecimiento”,

tal y como se recoge entre los contenidos (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45446). Este aspecto se recoge de nuevo en los criterios de evaluación:

Interpretar las leyes ponderales y las relaciones volumétricas de Gay-Lussac (...). Se pretende comprobar si los estudiantes son capaces de interpretar las leyes ponderales y las relaciones volumétricas de combinación entre gases, teniendo en cuenta la teoría atómica de Dalton y las hipótesis de Avogadro. (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45447)

Al igual que en la materia de Física y Química de cuarto curso de ESO, se aborda la importancia del vitalismo en el desarrollo de la química orgánica, en los criterios de evaluación: “Se evaluará si los estudiantes valoran lo que supuso la superación de la barrera del vitalismo, así como el espectacular desarrollo posterior de las síntesis orgánicas y sus repercusiones (nuevos materiales, contaminantes orgánicos permanentes, etc)” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45448).

Así como en los contenidos: “Orígenes de la química orgánica: superación de la barrera del vitalismo. Importancia y repercusiones de las síntesis orgánicas” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45447).

En definitiva, los aprendizajes de química orgánica de primer curso de Bachillerato sí cuentan con una presencia significativa (frente a otros) de la historia de la química a nivel curricular.

Para la materia de Química de segundo curso de Bachillerato, el currículo incluye dos objetivos profundamente ligados a la historia de la química en tanto que hace referencia a la evolución de sus leyes y teorías: “Adquirir y poder utilizar con autonomía los conceptos, leyes, modelos y teorías más importantes, así como las estrategias empleadas en su construcción” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45451) y “comprender y valorar el carácter tentativo y evolutivo de las leyes y teorías químicas, evitando posiciones dogmáticas y apreciando sus perspectivas de desarrollo” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45455).

En lo referente a los contenidos, el currículo de Química hace referencia a determinados capítulos de la historia de la química de forma explícita: la evolución histórica de los modelos atómicos desde Bohr al modelo mecanocuántico, la evolución histórica de la ordenación periódica de los elementos y la revisión de las distintas interpretaciones del carácter ácido-base de las sustancias químicas (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45452). Cabe

destacar que a diferencia de lo que ocurría con la materia de Física y Química de primer curso de Bachillerato, el currículo LOE sí explicita la evolución histórica de la clasificación de los elementos químicos entre los contenidos de la materia de Química de segundo curso.

En relación con los modelos atómicos, uno de los contenidos destaca “la importancia de la mecánica cuántica en el desarrollo de la química” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45452). Este constituye un nexo curricular de interés entre las materias de Química y de Física, que en segundo curso de Bachillerato se presentan independientemente, permitiendo relacionar dicho aprendizaje con otros propios de la materia de Física como la crisis de la física clásica y el nacimiento de la física moderna (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45444). En este punto cabe destacar que la materia de Física de segundo curso de Bachillerato presenta una mayor contextualización histórica a nivel curricular que la materia de Química, haciéndose alusión a distintos aspectos de la historia de la física tales como la gravitación, la naturaleza de la luz, la síntesis electromagnética, la crisis de la física clásica y el nacimiento de la física moderna.

Entre los objetivos de la materia de Biología y Geología de primer curso de Bachillerato encontramos “reconocer el carácter de la ciencia como un proceso cambiante y dinámico” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45435). Entre los de la materia de Biología de segundo curso vuelve a estar presente la historia de la ciencia al hacer referencia a la articulación de leyes, teorías y modelos propios de la Biología: “Valorar en su desarrollo como ciencia los profundos cambios producidos a lo largo del tiempo y la influencia del contexto histórico, percibiendo el trabajo científico como una actividad en constante construcción” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45432).

Un criterio de evaluación de esta misma materia destaca la importancia de que los estudiantes puedan “analizar explicaciones científicas sobre distintos fenómenos naturales en diferentes contextos históricos, conocer y discutir algunas controversias y comprender su contribución a los conocimientos científicos actuales” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45433).

En segundo curso, en la materia de Ciencias de la Tierra y Medioambientales se asume como objetivo que el alumno “reconozca la importancia de los aspectos históricos, sociológicos, económicos y culturales en los estudios sobre el medio ambiente”

(REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45437) en los que, por su propia naturaleza, la química presenta un papel destacado. Otro caso de interés es el de la materia de Geología de segundo curso de Bachillerato. Entre los contenidos encontramos la evolución histórica del conocimiento geológico: “sus logros y limitaciones, su carácter tentativo y de continua búsqueda, la interpretación de la realidad a través de modelos” (RESOLUCIÓN de 7 de junio de 2008, BOCM núm. 179, p.22). Estos aspectos pueden ser de interés para incorporar la geología a una historia integrada de las ciencias donde pueda estar en contacto con la química.

En el caso de las materias de Tecnología Industrial I y II, no se ofrecen referencias directas a la historia de la química, pese a la importancia de esta ciencia en el desarrollo de la técnica y viceversa (cuyas fronteras se diluyen cada vez más en el contexto de la tecnociencia contemporánea).

Para las materias de Matemáticas I y II de la modalidad de Bachillerato de Ciencias y Tecnología, se incluye dos objetivos que destacan la importancia de las matemáticas en la historia, propiciando nexos curriculares de interés entre historia de las matemáticas y de otras ciencias, como la química: “considerar las

argumentaciones razonadas y la existencia de demostraciones rigurosas sobre las que se basa el avance de la ciencia y la tecnología, mostrando una actitud flexible, abierta y crítica ante otros juicios y razonamientos” y “apreciar el desarrollo de las matemáticas como un proceso cambiante y dinámico, con abundantes conexiones internas e íntimamente relacionado con el de otras áreas del saber” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45449).

Matemáticas aplicadas a las Ciencias Sociales I y II establecen en sus objetivos generales “utilizar el conocimiento matemático para interpretar y comprender la realidad, estableciendo relaciones entre las matemáticas y el entorno social, cultural o económico y apreciando su lugar, actual e histórico, como parte de nuestra cultura” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45475).

Merece especial atención la materia de Ciencias para el Mundo Contemporáneo, de carácter obligatorio para todos los alumnos de primer curso de Bachillerato. En la descripción general de la materia se incide en la importancia de generar una imagen de la ciencia y la tecnología como “actividades humanas incluidas en contextos sociales, económicos y éticos que les transmiten su valor

cultural” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45387).

En esta línea, uno de los objetivos recoge:

Valorar la contribución de la ciencia y la tecnología a la mejora de la calidad de vida, reconociendo sus aportaciones y sus limitaciones como empresa humana cuyas ideas están en continua evolución y condicionadas al contexto cultural, social y económico en el que se desarrollan. (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45388)

Además, otro de los objetivos hace alusión a “reconocer en algunos ejemplos concretos la influencia recíproca entre el desarrollo científico y tecnológico y los contextos sociales, políticos, económicos, religiosos, educativos y culturales en que se produce el conocimiento y sus aplicaciones” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45388).

Los contenidos concretan algunos episodios en la historia de la ciencia, siendo algunos de ellos de especial interés en historia de la (bio)química, como el origen de la vida y la revolución genética, así como el desarrollo de fármacos, nuevos materiales y estrategias de cuidado medioambiental (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45388). En el marco LOE, Ciencias para el Mundo Contemporáneo es la materia de Bachillerato que más elementos

curriculares emplea explícitamente en presentar la ciencia como actividad humana propia de un determinado contexto histórico, social y económico; imagen de la ciencia que la investigación educativa ha mostrado que se revela al introducir la historia de la ciencia en la enseñanza de las ciencias, tal y como se ha apuntado en el capítulo anterior. El caso de Ciencias para el Mundo Contemporáneo es de especial interés pues era cursada no únicamente por alumnos del Bachillerato de Ciencias y Tecnología, sino también de Artes y de Humanidades y Ciencias Sociales. Con la entrada en vigor de la LOMCE, esta materia no está presente en el currículo de Bachillerato. No obstante, la revisión del currículo de dicha materia puede ayudar a reflexionar sobre la necesidad de presentar la ciencia y su historia a estudiantes de Bachillerato desde la óptica esbozada, con independencia de su orientación académica.

Las materias de Lengua Castellana y Literatura I y II de Bachillerato conceden especial atención a “los discursos científicos y técnicos y a los culturales y literarios” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45398). También se incluye un criterio de evaluación orientado a evaluar la capacidad de “extraer el tema general y los temas secundarios de textos expositivos y argumentativos de divulgación científica (académicos o

periodísticos)” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45400). En este marco, trabajar textos históricos de química es una opción curricularmente válida. La ciencia en perspectiva histórica también está presente en el currículo de Griego, existiendo un contenido específico de segundo curso de Bachillerato (Griego II) que alude a las “raíces griegas de la cultura moderna en la literatura, la filosofía, la ciencia y el arte” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45464). Para el caso del Latín, en la materia de segundo curso de Bachillerato (Latín II) se incluye “vocabulario específico de origen grecolatino usual de las disciplinas que se estudian en Bachillerato” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45471), lo que permitiría abordar curricularmente, por ejemplo, relaciones entre el latín y el lenguaje químico.

La materia de Lengua Extranjera I y II también incluye elementos curriculares que permiten abordar la historia de la ciencia, tales como los contenidos relacionados con “el conocimiento y valoración de los elementos culturales más relevantes” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45403) o el criterio de evaluación específico centrado en “analizar, a través de documentos auténticos, en soporte papel, digital o audiovisual, aspectos geográficos, históricos, artísticos, literarios y

sociales relevantes de los países cuya lengua se aprende” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45404).

En el área de Ciencias Sociales encontramos las materias de Historia del Mundo Contemporáneo en primer curso de Bachillerato de la modalidad de Humanidades y Ciencias Sociales y de Historia de España en segundo curso, de carácter obligatorio para todas las modalidades. La materia de primer curso, no cursada por alumnos del Bachillerato de Ciencia y Tecnología, hace referencia a “el impacto científico y tecnológico” entre los contenidos dedicados al mundo actual (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45468). Para segundo curso, al igual que ocurre en la etapa de ESO, en la medida en que se imbrique la ciencia dentro de las distintas áreas que conforman la cultura, es posible la incorporación de determinados elementos propios de la historia de la ciencia española (protagonista, acontecimientos, espacios...); aunque la materia de Historia de España no aborda la historia de la ciencia en España, pese a sí incluir la historia de la economía, de la política o del arte.

En la materia de Historia del Arte, propia del Bachillerato de Humanidades y Ciencias Sociales, se incluye “la revolución industrial y el impacto de los nuevos materiales en la arquitectura” como uno de los contenidos fundamentales del arte del siglo XIX

(REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45466). Una oportunidad curricular para conocer ciencia y arte a través de la historia de la ciencia y, en particular, a través de la historia de la química, en la que el desarrollo de nuevos materiales y sus aplicaciones tienen cabida.

Uno de los objetivos de la materia de Economía de primer curso de Bachillerato es que el alumno relacione “hechos económicos significativos con el contexto social, político, cultural y natural en que tienen lugar” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45456), nexo curricular con las materias de ciencias (como la química), en la medida que estas se presenten en diferentes contextos históricos, sociales y económicos, lo que implica recurrir a la historia de las ciencias (como la historia de la química). “Valorar críticamente las posibles consecuencias sociales y medioambientales de la actividad empresarial, así como su implicación en el agotamiento de los recursos naturales, señalando su repercusión en la calidad de vida de las personas” es uno de los objetivos de la materia Economía de la Empresa de segundo curso de Bachillerato (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45459). Problemas y retos de la química que encuentran en este objetivo otro nexo curricular.

Respecto a las materias de Filosofía, la materia de primer curso (Filosofía y Ciudadanía) hace referencia a la relación entre ciencia y filosofía en los contenidos relacionados con el saber filosófico: “filosofía, ciencia y otros modelos del saber” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45392). La materia de segundo curso (Historia de la Filosofía) incluye referencias a episodios también presentes en la historia de la ciencia, tales como la filosofía antigua (“los orígenes del pensamiento filosófico”), la filosofía medieval (“filosofía y religión”) o la filosofía moderna (“el renacimiento y la revolución científica”) (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45397). A este respecto, la revolución química, ampliamente documentada por los historiadores de la ciencia, aunque con enfoques poco presentes todavía hoy en el aula (Bertomeu Sánchez y García Belmar, 2006), pueden actuar como interesante nexo de unión curricular entre historia de la química e historia de la filosofía.

2.4 La historia de la química en el currículo LOE de Física y Química de ESO y de Bachillerato de la Comunidad de Madrid

La revisión del currículo LOE de la materia de Física y Química de tercer y cuarto curso de ESO y de primer curso de Bachillerato y de Química de segundo curso de Bachillerato de la Comunidad de Madrid revela que no existen grandes diferencias respecto al currículo LOE establecido por los REALES DECRETOS 1621/2006 y 1467/2007. No obstante, sí es posible encontrar algunas diferencias significativas que cabe destacar. Así, para la materia de Física y Química de tercer curso de ESO, los contenidos relacionados con la estructura atómica no especifican los modelos atómicos concretos que se han de aprender. Además, si bien uno de los criterios de evaluación hace referencia a las interrelaciones entre sociedad, ciencia y tecnología, se matiza que el contexto es el actual. Para la materia de Física y Química de cuarto curso, ni los contenidos ni los criterios de evaluación hacen alusión a la historia de química orgánica, como sí ocurría en el currículo nacional. Por tanto, para las materias de Física y Química tanto de tercer como de cuarto curso de ESO, la presencia curricular de la historia de la química es menor en la Comunidad de Madrid.

Para el caso de Bachillerato, los currículos nacional y autonómico presentan mayor similitud en cuanto a la presencia curricular de la historia de la química. Para la materia de Física y Química de primer curso, encontramos objetivos ligados a la historia de la ciencia, tales como “tener una visión global del desarrollo de estas ramas de la ciencia y de su papel social” y:

Reconocer el carácter tentativo y creativo del trabajo científico, como actividad en permanente proceso de construcción, analizando y comparando hipótesis y teorías contrapuestas a fin de desarrollar un pensamiento crítico, así como valorar las aportaciones de los grandes debates científicos al desarrollo del pensamiento humano. (DECRETO 67/2008, BOCM núm. 152, p. 62)

Al igual que establece el REAL DECRETO 1467/2007, los modelos atómicos (Thomson, Rutherford, Bohr y actual), la teoría atómica y las leyes fundamentales de las combinaciones químicas y los orígenes de la química orgánica se presentan como contenidos curriculares en una aproximación histórica; pero a diferencia del currículo nacional, para la Comunidad de Madrid no se hace referencia a la historia de la clasificación de los elementos

químicos, ni entre los contenidos, ni entre los criterios de evaluación de Física y Química de primer curso de Bachillerato.

En el caso de la materia de Química de segundo de Bachillerato, también encontramos objetivos identificables con la historia de la química: conocer las estrategias empleadas en la construcción de leyes, teorías y modelos de la química y “comprender y valorar la naturaleza de la química, el carácter tentativo y evolutivo de sus leyes y teorías, evitando posiciones dogmáticas y apreciando sus perspectivas de desarrollo” (DECRETO 67/2008, BOCM núm. 152, p. 67). Entre los contenidos encontramos la historia de los modelos atómicos (desde Bohr al modelo actual) y la evolución histórica de la ordenación periódica de los elementos. En el caso de la evolución de la descripción del carácter ácido-base, se restringe a la teoría de Arrhenius y de Brønsted-Lowry para el currículo autonómico. Respecto a los criterios de evaluación, uno de ellos se centra en “describir los modelos atómicos discutiendo sus limitaciones” (DECRETO 67/2008, BOCM núm. 152, p. 68). Encontramos pues un currículo autonómico similar al currículo de la misma materia a nivel nacional.

Finalmente, cabe destacar la aprobación de una materia dedicada a la historia de la ciencia en el currículo de Bachillerato de la Comunidad de Madrid en el curso 2017-2018. Si bien dicha materia, denominada Filosofía e Historia de la Ciencia, se inscribe en el marco LOMCE y no en el marco LOE; es de interés mencionarla aquí pues ilustra cómo la ubicación de la historia de la ciencia en el currículo constituye un tema de actualidad educativa suscitando diversas cuestiones tanto para la investigación educativa, como para la práctica docente, tales como si la historia de la ciencia ha de abordarse dentro del currículo de cada materia de ciencias, bien de forma transversal en las distintas materias escolares (no únicamente científicas) o bien se hace necesaria una materia como la anteriormente mencionada.

Cuestiones que requieren de un análisis exhaustivo que parta de una revisión completa de la historia de la ciencia en el currículo; algo a lo que el presente capítulo ha contribuido, para el caso de la química. Una revisión del currículo que constituye uno de los dos ejes vertebradores del estudio empírico realizado, el cual se aborda a continuación.

ESTUDIO EMPÍRICO

Capítulo 3. Marco metodológico

“Mientras en las ciencias experimentales la solución pasa por establecer leyes generales que expliquen el funcionamiento de los fenómenos, en educación es difícil encontrar una respuesta que sea válida y aplicable a todos los contextos. Y, por estos motivos, surgieron otros enfoques o maneras de abordar la investigación de los fenómenos educativos”.

Enrique Navarro Asencio, Eva Jiménez García,
Soledad Rappoport Redondo y Bianca Thoilliez Ruano
(2017, p. 21)

Estructura del capítulo:

3.1. Objetivos y preguntas de investigación

3.2. Hipótesis

3.3. Instrumento metodológico para la revisión del currículo

3.4. Instrumento metodológico para el análisis de los libros de texto

3.4.a Diseño del cuestionario

3.5.b Muestra analizada

3.1 Objetivos y preguntas de investigación

Tal y como se apuntó en la introducción de la presente memoria, esta tesis doctoral tiene por objetivo principal conocer la forma en que la historia de la química está presente en el currículo de ESO y Bachillerato y en los libros de texto de Física y Química de dichos niveles educativos en el marco LOE. Es decir, dar respuesta a las preguntas: ¿qué historia de la química está presente en el currículo LOE y en los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato? ¿cómo? ¿para qué?

Para la consecución de dicho objetivo general y dar respuesta a estas cuestiones, se establecieron cuatro objetivos específicos (O):

(O1) Identificar qué aprendizajes sobre historia de la química están presentes en el currículo de las distintas materias de ESO y Bachillerato.

(O2) Analizar la forma en que los aprendizajes sobre historia de la química son presentados en los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato, comparando los mismos con los trabajos académicos en historia de la ciencia.

(O3) Conocer qué utilidades didácticas otorga el currículo de ESO y Bachillerato a la historia de la química en el conjunto de materias escolares.

(O4) Describir las utilidades didácticas que la historia de la química desempeña en los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato.

Dichos objetivos específicos se han agrupado en dos categorías: aprendizajes sobre historia de la química y utilidades didácticas de la historia de la química. El primero (O1) y el segundo (O2) versan sobre los aprendizajes sobre historia de la química recogidos en el currículo y en los libros de texto. Dichos aprendizajes incluyen todos aquellos aspectos que el estudiante ha de aprender sobre la historia de la química, tales como modelos o teorías pretéritas y su evolución, personajes, espacios, instrumentos, obras u experimentos

de interés en la historia de la química. En definitiva, se trata de conocer qué historia de la química está presente en currículo y libros de texto y cómo, por comparación con los estudios históricos académicos.

El tercer (O3) y cuarto (O4) de los objetivos se agrupan en torno a las utilidades didácticas de la historia de la química; entendiéndose como tales las distintas oportunidades que a nivel normativo brinda la historia de la química para abordar determinados aprendizajes sobre química. Es decir, para qué está presente la historia de la química en currículo y libros de texto, entendiéndola la misma como recurso y no como objeto de aprendizaje per se.

Cada uno de los objetivos específicos lleva asociado una o dos preguntas de investigación. Dichas preguntas de investigación (P) han vertebrado el diseño metodológico del presente estudio empírico, concebido de tal modo que permita dar respuesta a las mismas, recogiendo dichas respuestas en el próximo capítulo. El interés de estas preguntas se inscribe en el marco teórico definido en el primer capítulo de la presente tesis doctoral, que reveló el estudio de la historia de la ciencia en el currículo y los libros de texto como una línea de investigación de interés actual en la

didáctica de las ciencias y para la propia historia de la ciencia. Las preguntas de investigación, así como los objetivos específicos con los que se asocian, se recogen en la *Tabla 5*.

Tabla 5. Objetivos específicos y preguntas de investigación

APRENDIZAJES SOBRE HISTORIA DE LA QUÍMICA		
O1	P1	¿Qué aprendizajes curriculares sobre historia de la química aparecen recogidos en las materias de Física y Química de ESO y Bachillerato?
	P2	¿Existen aprendizajes curriculares sobre historia de la química recogidos en el resto de materias de ESO y Bachillerato?
O2	P3	¿Presentan los aprendizajes sobre historia de la química recogidos en los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato diferencias significativas con los trabajos académicos en historia de la ciencia?
UTILIDADES DIDÁCTICAS DE LA HISTORIA DE LA QUÍMICA		
O3	P4	¿Qué utilidades didácticas otorga el currículo de ESO y Bachillerato a la historia de la química en las materias de Física y Química?
	P5	¿Existen utilidades didácticas relacionadas con la historia de la química en el currículo del resto de materias de ESO y Bachillerato?
O4	P6	¿Qué utilidades didácticas específicas otorgan los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato a la historia de la química?
	P7	¿Qué papel didáctico desempeña la historia de la química en los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato?

Fuente: elaboración propia

3.2 Hipótesis

El estudio empírico que aquí se aborda parte de una serie de hipótesis generales (H). Dichas hipótesis se concibieron como respuestas a priori de las preguntas de investigación planteadas, postuladas desde la óptica esbozada en el marco teórico. Al igual que los objetivos específicos y las preguntas de investigación, las hipótesis también se han agrupado en torno a las dos categorías fijadas anteriormente. Así, las hipótesis de la investigación en torno a los aprendizajes sobre historia de la química en el currículo LOE y en los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato son:

(H1) La historia de la química no presenta un papel destacado en el currículo LOE de las materias de Física y Química de ESO y Bachillerato.

(H2) Existen elementos curriculares relacionados directamente con la historia de la química en el conjunto de materias de ESO y Bachillerato del currículo LOE.

(H3) Los aprendizajes sobre historia de la química de los libros de texto están notablemente distanciados de los estudios históricos y sociales sobre ciencia.

Respecto a las utilidades didácticas de la historia de la química en el currículo y los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato:

(H4) El currículo LOE de las materias de Física y Química de ESO y Bachillerato otorga a la historia de la química ciertas utilidades didácticas.

(H5) Existen elementos curriculares en ESO y Bachillerato en el marco LOE que revelan la historia de la química como un nexo curricular entre la química y otras materias, tanto científico-tecnológicas, como humanístico-sociales.

(H6) La mayoría de libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato centran la historia de la química en las temáticas fijadas por el currículo, otorgándole un papel minoritario en las actividades.

(H7) La historia de la química tiene un papel anecdótico en la mayoría de libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato.

Del mismo modo que cada objetivo específico lleva asociado una o varias preguntas de investigación, cada una de las hipótesis generales lleva asociada una o varias hipótesis específicas, las cuales se recogen en las *Tablas 6, 7, 8 y 9*, según correspondan al

primer, segundo, tercer o cuarto objetivo de la investigación, respectivamente.

Tabla 6. Hipótesis específicas vinculadas al primer objetivo de investigación

P1	H1	H1a	Los aprendizajes sobre historia de la química no se localizan únicamente en los contenidos.
		H1b	Tanto en ESO como en Bachillerato, los aprendizajes sobre historia de la química se restringen a un pequeño número de temáticas.
P2	H2	H2a	Es posible encontrar aprendizajes curriculares directamente relacionados con la historia de la química en el resto de materias científico-tecnológicas de ESO y Bachillerato.
		H2b	Es posible encontrar aprendizajes curriculares directamente relacionados con la historia de la química en las materias humanístico-sociales de ESO y Bachillerato.

Fuente: elaboración propia

Tabla 7. Hipótesis específicas vinculadas al segundo objetivo de investigación

P3	H3	Los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato:
		H3a Presentan la química como una ciencia fundada por Lavoisier.
		H3b Ignoran cómo fueron explicados de acuerdo al modelo de Thomson los resultados de la lámina de oro que llevaron a Rutherford a proponer un modelo nuclear del átomo.
		H3c Presentan la síntesis de la urea de Wöhler como el golpe mortal a la teoría del vitalismo.
		H3d No abordan significativamente la teoría del flogisto.
		H3e No atienden a las prácticas, saberes y tradiciones anteriores históricamente a la moderna ciencia química.
		H3f Presentan la teoría atómico de Dalton como la primera explicación corpuscular de los fenómenos naturales, tras las explicaciones del atomismo filosófico griego.
		H3g Obvian la historia de los modelos de enlace químico.
		H3h Desatiende el papel de las mujeres en la historia de la química.
		H3i No otorgan un papel destacado a los instrumentos científicos.

Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Hipótesis específicas vinculadas al tercer objetivo de investigación

P4	H4	H4a	El currículo de ESO y Bachillerato revela la historia de la química como una herramienta útil para que el estudiante comprenda cómo se construye el conocimiento químico, con independencia de los correspondientes aprendizajes sobre historia de la química que el mismo determina para las materias de Física y Química.
		H4b	Las utilidades didácticas curriculares de la historia de la química se limitan a los criterios de evaluación de Física y Química.
P5	H5	H5a	La historia de la química en el currículo actúa como nexo con las materias científico-tecnológicas de ESO y Bachillerato.
		H5b	La historia de la química en el currículo actúa como nexo con las materias humanísticas-sociales de ESO y Bachillerato.

Fuente: elaboración propia

Tabla 9. Hipótesis específicas vinculadas al cuarto objetivo de investigación

P6	H6	H6a	Los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato incluyen más temáticas sobre historia de la química, además de las fijadas por el currículo.
		H6b	La mayoría de actividades recogidas en los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato no utilizan la historia de la química.
P7	H7	H7a	La historia de la química en los libros de texto juega un papel destacado en los textos iniciales y finales de las unidades didácticas, así como en las imágenes de las mismas.
		H7b	Los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato no suelen incluir referencias a publicaciones, congresos o instituciones en su presentación de la historia de la química.

Fuente: elaboración propia

A fin de comprobar la validez de dichas hipótesis y dar respuesta a las preguntas de investigación, el estudio empírico diseñado consta de dos fases. La primera de ellas (Fase I) ha consistido en una revisión interdisciplinar del currículo LOE de ESO y Bachillerato, utilizando dos fichas previamente diseñadas, lo que ha permitido identificar los aprendizajes y utilidades didácticas curriculares de la historia de la química en el marco LOE, atendiendo tanto a aspectos cualitativos, como cuantitativos.

Durante la segunda (Fase II) se ha llevado a cabo el análisis de los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato (LOE), habiéndose utilizado un instrumento metodológico de recogida de información que incluye un cuestionario, entre otras herramientas. Dicho cuestionario fue previamente diseñado en torno a las preguntas de investigación y validado. Todo estos aspectos se explican con detalle en los siguientes apartados.

3.3. Instrumento metodológico para la revisión del currículo

La revisión del currículo realizada se ha llevado a cabo utilizando un instrumento metodológico que consta de una ficha de registro y una ficha de recogida de datos cuantitativos. La primera ha permitido recopilar las referencias a la historia de la química recogidas en el currículo LOE de ESO y Bachillerato. La segunda, valorar qué relevancia tiene la historia de la química en el currículo de las materias de Física y Química de ESO y de Bachillerato (materia de Química para segundo curso).

La legislación educativa revisada corresponde a la LEY ORGÁNICA 2/2006, de 3 de mayo, de Educación; el REAL DECRETO 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación

Secundaria Obligatoria y el REAL DECRETO 1467/2007, de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas; para el marco nacional y el DECRETO 23/2007, de 10 de mayo, del Consejo de Gobierno, por el que se establece para la Comunidad de Madrid el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria; el DECRETO 67/2008, de 19 de junio, del Consejo de Gobierno, por el que se establece para la Comunidad de Madrid el currículo de Bachillerato y la RESOLUCIÓN de 7 de julio de 2008, de la Dirección General de Educación Secundaria y Enseñanzas Profesionales, por la que se establecen las materias optativas del Bachillerato en la Comunidad de Madrid; para el caso de la Comunidad de Madrid.

La estructura de la ficha de registro utilizada en la revisión del currículo se recoge en la *Figura 1*. Para el caso de las materias de Física y Química, la ficha de recogida de datos cuantitativos se recoge en la *Figura 2*. En la misma se señalan los elementos curriculares (objetivos, contenidos, criterios de evaluación) que hacen referencia a la historia de la química frente al total de objetivos, contenidos o criterios de evaluación correspondientes al área de química, según corresponda. Asimismo, también se han contabilizado aquellos elementos curriculares de tipo general,

comunes con el área de física, en el caso de las materias de Física y Química de tercer y cuarto curso de ESO y de primer curso de Bachillerato; no siendo necesario en segundo curso de Bachillerato, por presentarse separadas las materias de Química y de Física.

Figura 1. Modelo de ficha de registro de referencias históricas en el currículo

Etapa	Curso	Materia	Elemento curricular	Descripción
(ej.) BACH.	2º	Química	Contenido	Evolución histórica de la ordenación periódica de los elementos químicos
(ej.) ESO	4º	Tecnología	Contenido, criterio de evaluación	Evolución de la tecnología a lo largo de la historia a partir del análisis de objetos y valorando los inventos y descubrimientos en su contexto económico y social.

Fuente: elaboración propia

Figura 2. Modelo de ficha de registro de datos cuantitativos sobre el currículo

Curso	Objetivos	Contenidos	Criterios de evaluación

Fuente: elaboración propia

El empleo de estas herramientas metodológicas ha permitido obtener la información necesaria sobre el currículo para responder a las preguntas de investigación planteadas sobre la historia de la química en el currículo LOE de ESO y Bachillerato (P1, P2, P4, P5), cuyas respuestas se recogen y discuten en el capítulo 4. Dichas respuestas han permitido aceptar, matizar o rechazar las hipótesis asociadas a dichas preguntas de investigación (H1, H2, H4, H5).

3.4. Instrumento metodológico para el análisis de los libros de texto

Para el análisis de los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato se ha diseñado un instrumento metodológico que consta, a su vez, de cuatro partes diferenciadas. La primera está dedicada a recoger información general sobre el libro de texto, como editorial, proyecto didáctico, año de publicación, autores y el número de unidades didácticas de química sobre el total de unidades didácticas. Sobre este último punto, cabe destacar que se han contabilizado como unidades de química también aquellas que son comunes con el área de física en el caso de los libros de texto de Física y Química de ESO y de primer curso de Bachillerato. Muchas de estas unidades comunes están dedicadas a cuestiones como magnitudes y medida, el método científico, el lenguaje de la física y la química o ciencia y sociedad.

El instrumento metodológico también incluye una sección para la recopilación de información cuantitativa sobre las unidades didácticas del área de química: porcentaje de unidades didácticas que emplean la historia de la química en su introducción, porcentaje de unidades didácticas que la emplean en textos finales y porcentaje de imágenes y de actividades relacionadas con la historia de la

química en las unidades didácticas. Todos estos porcentajes se han establecido respecto a las unidades didácticas del área de química de cada libro de texto. En el caso de la materia de Química de segundo curso de Bachillerato, corresponde al total de unidades didácticas del libro de texto.

Además de estas herramientas, el instrumento metodológico diseñado incluye un cuestionario y una ficha de registro. El cuestionario se compone de diez cuestiones de entre dos a cuatro opciones de respuestas cada una. Se trata de cuestiones de respuesta cerrada. Estas cuestiones se han diseñado en consonancia con las hipótesis específicas planteadas en torno a la historia de la química en los libros de texto. Dichas cuestiones nacen del marco teórico esbozado en el capítulo 1 y permiten dar respuesta a algunas de las preguntas de investigación del estudio empírico relacionadas con la historia de la química en los libros de texto de ESO y Bachillerato (P3, P7). Dada la posible heterogeneidad de las respuestas, el cuestionario se revela como una herramienta de recolección de información adecuada para la consecución de los correspondientes objetivos en el marco de la investigación educativa actual (Cáceres, 2017).

Respecto a la ficha de registro, la misma ha sido diseñada de tal modo que permitiese recuperar información sobre la historia de la química en los libros de texto que complementase la recogida de información mediante cuestionario y enriqueciera el posterior análisis de los resultados, al proporcionar un acervo de ejemplos que permiten una descripción más detallada de la historia de la química en los libros de texto, como la que la presente tesis doctoral pretende. Las distintas partes del instrumento metodológico se recogen en las *Figuras 3, 4 y 5*.

Figura 3. Modelo de ficha de recogida de información general e información de las unidades didácticas de química en los libros de texto

INFORMACIÓN GENERAL DEL LIBRO DE TEXTO							
Editorial:							
Materia/curso/etapa:							
Año de publicación:							
Proyecto:							
Autores:							
Número de unidades didácticas del área de química (sobre el total de unidades didácticas incluidas en el libro de texto): <u> </u> / <u> </u>							
INFORMACIÓN SOBRE LAS UNIDADES DIDÁCTICAS DEL ÁREA DE QUÍMICA							
UD	Título	Lecturas		Número de imágenes		Número de actividades	
		Inicial	Final	HQ	Total	HQ	Total
(ej.) 1	Estructura atómica	Sí/no	Sí/no	7	40	5	53
Número de unidades didácticas con introducción relacionada con la historia de la química (sobre el total de unidades didácticas del área de química): <u> </u> / <u> </u> . Porcentaje: <u> </u> %							
Número de unidades didácticas con texto final relacionado con la historia de la química (sobre el total de unidad didácticas del área de química): <u> </u> / <u> </u> . Porcentaje: <u> </u> %							
Número de imágenes relacionadas con la historia de la química (sobre el total de imágenes de las unidades didácticas del área de química): <u> </u> / <u> </u> . Porcentaje: <u> </u> %							
Número de actividades relacionadas con la historia de la química (sobre el total de actividades de las unidades didácticas del área de química): <u> </u> / <u> </u> . Porcentaje: <u> </u> %							

Fuente: elaboración propia

Figura 4. Cuestionario para el análisis de los libros de texto

- c1. ¿Se presenta a Lavoisier como padre fundador de la química moderna?
- a) Sí.
 - b) No.
 - c) No procede.
- c2. En relación al experimento de la lámina de oro que llevó a Rutherford a postular la existencia del núcleo atómico, ¿se explican los resultados que cabría esperar de acuerdo al modelo de Thomson?
- a) Sí.
 - b) No.
 - c) No procede.
- c3. En relación a la síntesis de la urea de Wöhler en 1828:
- a) Se indica que supuso el fin definitivo del vitalismo.
 - b) Se presenta como uno de los experimentos que contribuyeron a la crisis del vitalismo.
 - c) No procede.
- c4. En relación a la teoría del flogisto:
- a) Se aborda, señalando que fue una teoría superada por los trabajos de Lavoisier.
 - b) Se aborda, señalando su utilidad para explicar diversos fenómenos químicos con anterioridad a los trabajos de Lavoisier.
 - c) No procede.
- c5. ¿Se hace referencia a prácticas, saberes y tradiciones anteriores a la química científica?
- a) Sí.
 - b) No.
- c6. En relación a los átomos como partículas constituyentes de la materia:
- a) Se sitúan los orígenes del atomismo en la filosofía griega.
 - b) Se atiende a distintas formas de atomismo con anterioridad a Dalton.
 - c) Se presenta la teoría atómica de Dalton como la primera forma de atomismo capaz de explicar fenómenos químicos.
 - d) No procede.

c7. En relación a la historia de los modelos de enlace químico:

- a) Se presenta a Lewis como artífice del concepto electrónico de enlace químico.
- b) Se atiende a las contribuciones de Langmuir.
- c) Se incluyen otras referencias a la historia del enlace químico.
- d) No procede.

c8. ¿Se hace referencia a las mujeres en la historia de la química?

- a) Sí.
- b) No.

c9. ¿Se explica el papel de los instrumentos en la historia de la química?

- a) Sí.
- b) No.

c10. ¿Se hace referencia a libros, artículos, otros documentos y/o congresos o eventos de la historia de la química?

- a) Sí.
- b) No.

Fuente: elaboración propia

Figura 5. Modelo de ficha de registro de las referencias a la historia de la química en los libros de texto

Temática	Localización (libro, unidad didáctica, página)	Texto, imagen o actividades	Referencia a la historia de la química
(ej.) Atomismo	A3,UD4, p.76	Texto	“Para Leucipo y Demócrito, la materia era discontinua, lo que implicaba aceptar la existencia del vacío y de átomos eternos...”

Fuente: elaboración propia

Finalmente, en la *Tabla 10* se recoge la relación entre los objetivos específicos, las preguntas de investigación y las hipótesis (generales y específicas) y las fases del estudio empírico (fase I, fase II), así como con los distintos componentes de los instrumentos metodológicos empleados y definidos anteriormente: fichas de registro de referencias a la historia de la química tanto en el currículo (FRRC) como en los libros de texto (FRRL), ficha de recogida de datos cuantitativos del currículo (FRDC), ficha de

información sobre las unidades didácticas del área de química de los libros de texto (FIUDQ) y cuestionario (c).¹

Tabla 10. Esquema general del diseño metodológico del estudio empírico

Objetivos, preguntas de investigación, hipótesis generales, hipótesis específicas				Diseño metodológico		
				Fase	Herramienta	
O1	P1	H1	H1a	I	FRDC	
			H1b			
	P2	H2	H2a			
			H2b			
O2	P3	H3	H3a	II	FRRL	
			H3b			c1
			H3c			c2
			H3d			c3
			H3e			c4
			H3f			c5
			H3g			c6
			H3h			c7
			H3i			c8
			H3i			c9
O3	P4	H4	H4a	I	FRRC	
			H4b			
	P5	H5	H5a			
			H5b			
O4	P6	H6	H6a	II	FRRL	
			H6b			FIUDQ
	P7	H7	H7a			
			H7b			c10

Fuente: elaboración propia

¹ Se ha utilizado la letra c minúscula para designar el cuestionario, reservándose la letra C mayúscula para designar las conclusiones, las cuales se recogen en el capítulo 5.

fRespecto al cuestionario, principal instrumento del diseño metodológico del presente estudio empírico, se presentan a continuación los principales aspectos sobre su diseño y validación.

3.4.a Diseño del cuestionario

En consonancia con las pautas de diseño metodológico publicadas en las revisiones sobre el papel metodológico del cuestionario en investigación educativa por Cáceres (2017) y Navarro Asencio et al. (2017), el diseño del cuestionario se llevó a cabo en tres etapas: (1) Elaboración de un repertorio de cuestiones a partir del Plan de Investigación, (2) primer proceso de validación a partir de la evaluación de expertos externos e introducción de modificaciones a partir del marco teórico definitivo y (3) segundo proceso de validación mediante prueba piloto e introducción de modificaciones finales.

En la primera etapa se elaboró una amplia relación de cuestiones basadas en las primeras lecturas del marco teórico, como consecuencia de las primeras revisiones bibliográficas realizadas con motivo de la elaboración del Plan de Investigación, evaluado favorablemente por dos expertos durante el curso 2014-2015 en el

marco del Programa de Doctorado en Educación de la Universidad Autónoma de Madrid.

En la segunda etapa, dichas cuestiones fueron revisadas por dos expertos externos, distintos a los anteriores y procedentes del ámbito de la didáctica de la química, quienes evaluaron cada una de las cuestiones propuestas en una escala de 1 a 4, con posibilidad de incorporación de comentarios. Con las particularidades propias de cada cuestión, los evaluadores consideraron de interés las temáticas abordadas por la mayoría de las cuestiones. Las cuestiones enviadas a los evaluadores se incluye en forma de anexo en la presente tesis doctoral.

Entre los principales comentarios de los evaluadores cabe destacar la importante acumulación de respuestas negativas, así como la extensión del cuestionario. Teniendo en cuenta estos aspectos se decidió reducir el número de cuestiones, las cuales se ajustaron a las lecturas finales que conformaron el marco teórico, así como a las hipótesis específicas formuladas en el transcurso del curso 2015-2016.

El marco teórico determinó qué cuestiones en torno a la historia de la química en el marco educativo habían sido menos abordadas, frente a otras, reveladas mucho menos transitadas en investigación

educativa a tenor de las búsquedas bibliográficas especializadas, incluyendo trabajos de interés publicados en 2016; en la línea apuntada en el trabajo de revisión de Sureda Negre y Comas Forgas (2017); quienes apuntan la importancia de las revisiones bibliográficas para adoptar el enfoque metodológico más adecuado a los objetivos de la investigación.

Por ello, se llevó a cabo una considerable reducción en el número de cuestiones (de 52 a 10), centrando la atención en aspectos menos abordados por la didáctica de la química, introduciendo cuestiones nuevas y reformulando algunas ya existentes. Dicha reducción ha sido posible por usarse junto al cuestionario una ficha de registro que permite recopilar la misma información que las cuestiones eliminadas en la versión final, facilitando la aplicación del cuestionario y la presentación de los resultados.

Para la elaboración del cuestionario se tomaron como referencias los cuestionarios empleados por Calvo Pascual y Martín Sánchez (2005) para el análisis de la adaptación de los libros de texto de ESO al currículo LOGSE, en el campo de la química y, especialmente, al cuestionario diseñado por Traver i Ribes (1996)

para el análisis de la historia de la física y la química en los libros de texto de BUP y COU (1978-1993).

El primero se tomó como base para complementar la información recogida por el cuestionario, esto es, en el diseño de la sección sobre información general del libro, de la ficha de datos cuantitativos sobre las unidades didácticas del área de química o la ficha de registro de referencias a la historia de la química (en este último caso, por incluir el cuestionario de Calvo Pascual y Martín Sánchez un ítem específico para observaciones).

El segundo cuestionario fue de interés a fin de cerrar la selección de las distintas cuestiones planteadas, pues si bien Traver i Ribes (1996) no planteó cuestiones específicas en torno a determinados aprendizajes sobre historia de la química como sí hace el cuestionario diseñado, los ítems que constituyen su cuestionario reflejan algunos rasgos en común con algunas de las preguntas de investigación a las que el cuestionario diseñado pretende contribuir a responder, aunque en marcos educativos separados por más de una década. Asimismo, el cuestionario diseñado contiene el mismo número de cuestiones que el empleado por Traver i Ribes (1996), cuestionario único con independencia de la etapa o del curso que correspondan al libro de texto; algo que

también se ha adoptado para el presente estudio empírico, como se comenta a continuación.

En la tercera y última etapa del proceso de diseño, el cuestionario provisto de las 10 cuestiones recogidas en la versión definitiva fue aplicado a una muestra de cuatro libros de texto de una de las editoriales analizadas, elegida de forma aleatoria. Dicho proceso de validación por prueba piloto reveló algunos aspectos de interés, que permitió introducir las mejoras finales. Así, al emplearse un mismo cuestionario para libros de texto de distintos cursos y etapas educativas, ciertas cuestiones no tenían respuesta por no presentarse en determinados cursos algunos de los aprendizajes con ellas relacionados. Este aspecto llevó a introducir la opción “No procede” entre las posibles respuestas de muchas de las cuestiones que así lo precisaban.

Se consideró oportuno mantener un mismo cuestionario para todos los cursos y etapas por contribuir esto a la detección de aspectos propios de la historia de la química presentes en los libros de texto de un curso determinado, aun cuando no estén reflejados directamente en el currículo específico de la materia para ese curso. Por ejemplo, para el caso de ESO, el experimento de la lámina de oro que llevó a Rutherford a plantear un modelo nuclear del átomo

se vincula curricularmente a tercer curso de ESO, por aparecer en el currículo los modelos atómicos de Thomson y Rutherford. Sin embargo, los libros de texto de cuarto de ESO también lo abordan. Si el cuestionario de cuarto curso de ESO se hubiese realizado atendiendo solo a la historia de la química que recoge el currículo de la materia para este curso, la forma en que los libros de texto de cuarto curso de ESO abordan el paso de un modelo atómico a otro no podría ser analizada.

Asimismo, dado que el cuestionario se ha empleado junto con la ficha de registro, no se ha hecho necesario incorporar preguntas que impliquen la recogida literal de información o respuestas elaboradas; puesto que todas las referencias a la historia de la química han sido recogidas en la ficha de registro, haya o no ítems con ellas vinculadas en el cuestionario. De este modo, no solo se enriquecen la respuesta a las preguntas de investigación, sino que también es posible identificar otras referencias a la historia de la química inicialmente no contempladas. Se logra así una descripción más detallada de la forma en que la historia de la química está presente en los libros de texto. Con todo ello, se conformó el cuestionario descrito con anterioridad, el cual se aplicó a la muestra de libros de texto, cuya selección se aborda a continuación.

3.4.b Muestra analizada

La selección de la muestra de libros de texto de Física y Química de ESO (tercer y cuarto curso) y primer curso de Bachillerato y de Química de segundo curso de Bachillerato se ha llevado a cabo atendiendo al ranking de prestigio editorial (2014) según expertos españoles para el ámbito de la educación establecido por el estudio *Scholarly Publishers Indicators in Humanities and Social Sciences* (SPI, 2014). De entre las distintas editoriales recogidas se han seleccionado tres editoriales españolas y dos extranjeras con línea editorial en España.

En ambos casos se trata de editoriales que ocupan los primeros puestos del ranking (tanto general, como del ámbito específico de educación) y que en el marco LOE para ESO y Bachillerato (2007-2016) contaban con proyectos editoriales actualizados y extendidos al conjunto de las comunidades autónomas. Por orden alfabético, dichas editoriales son: Anaya, McGraw-Hill, Oxford, Santillana y Vicens Vives.

Los veinte libros de texto que componen la muestra (cuatro libros de texto por editorial, correspondientes a los cursos tercero y cuarto de ESO y primer y segundo de Bachillerato) se recogen en las referencias bibliográficas de la presente tesis doctoral.

Cabe destacar que con el fin de respetar la privacidad de los resultados concretos de cada libro, los cuales se recogen en el próximo capítulo, se ha designado aleatoriamente a cada editorial con una letra: A, B, C, D y E. La referencia de cada libro constará de la letra correspondiente a su editorial y de un número que informa del curso y la etapa a las que corresponde: 3, para tercer curso de ESO; 4, para cuarto curso de ESO; 1, para primer curso de Bachillerato y 2, para segundo curso de Bachillerato. Así, por ejemplo, cuando se haga referencia al libro de texto E4, se está aludiendo al libro de texto de Física y Química de cuarto curso de ESO de la editorial E.

Capítulo 4. Resultados y discusión

“La mayoría de las historias erróneas son las que creemos que mejor conocemos y, por tanto, nunca examinamos o cuestionamos”.

Stephen Jay-Gould

Estructura del capítulo:

4.1 La historia de la química en el currículo LOE de ESO y Bachillerato

4.1.a (P1) ¿Qué aprendizajes curriculares sobre historia de la química aparecen recogidos en las materias de Física Química de ESO y Bachillerato?

4.1.b (P2) ¿Existen aprendizajes curriculares sobre historia de la química recogidos en el resto de materias de ESO y Bachillerato?

4.1.c (P4) ¿Qué utilidades didácticas otorga el currículo de ESO y Bachillerato a la historia de la química en las materias de Física y Química?

4.1.d (P5) ¿Existen utilidades didácticas relacionadas con la historia de la química en el currículo del resto de materias de ESO y Bachillerato?

4.2 La historia de la química en los libros de texto de ESO y Bachillerato

4.2.a (P3) ¿Presentan los aprendizajes sobre historia de la química recogidos en los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato diferencias significativas con los trabajos académicos en historia de la ciencia?

4.2.b (P6) ¿Qué utilidades didácticas específicas otorgan los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato a la historia de la química?

4.2.c (P7) ¿Qué papel general desempeña la historia de la química en los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato?

4.1 La historia de la química en el currículo LOE de ESO y Bachillerato

La revisión del currículo realizada desde el marco metodológico recogido en el capítulo anterior ha permitido dar respuesta a las preguntas de investigación planteadas en torno a la historia de la química en el currículo LOE de ESO y Bachillerato (P1, P2, P4, P5). De este modo se han identificado aquellos elementos curriculares (objetivos, contenidos, criterios de evaluación y competencias) relacionados con la historia de la química, agrupándolos en aprendizajes (P1, P2) y utilidades didácticas (P4, P5), a tenor de las categorías definidas en el capítulo anterior.

4.1.a (P1) ¿Qué aprendizajes curriculares sobre historia de la química aparecen recogidos en el área de química de las materias de Física y Química de ESO y Bachillerato?

En el currículo del área de química de las materias de Física y Química de tercer y cuarto curso de ESO y de primer curso de Bachillerato, así como en la materia de Química de segundo curso de Bachillerato, es posible encontrar diversos aprendizajes sobre historia de la química, los cuales se recogen en la *Tabla 11*.

Tabla 11. Aprendizajes curriculares sobre historia de la química en las materias

de Física y Química de ESO y Bachillerato

Etapa	Curso	Elemento curricular	Aprendizaje
ESO	3º	Contenido y criterio de evaluación	Primeros modelos atómicos: utilidad del modelo Thomson y evolución hacia el modelo de Rutherford.
ESO	4º	Criterio de evaluación	Síntesis de los primeros compuestos orgánicos frente al vitalismo en la primera mitad del siglo XIX.
Bach.	1º	Contenido y criterio de evaluación	Evolución histórica de los modelos atómicos: Thomson, Rutherford, Bohr y modelo cuántico; destacando la importancia de la mecánica cuántica en el desarrollo de la química.
Bach.	1º	Criterio de evaluación	Desarrollo histórico del sistema periódico y su importancia en la química.
Bach.	1º	Contenido y criterio de evaluación	Distintas interpretaciones de las leyes ponderales y volumétricas de las combinaciones químicas.
Bach.	1º	Contenido y criterio de evaluación	Origen y desarrollo de la química orgánica desde el siglo XIX, atendiendo a la superación del vitalismo y a la importancia social y económica de los hidrocarburos.
Bach.	2º	Contenido y criterio de evaluación	Evolución histórica de los modelos atómicos, con especial énfasis en los modelos de Bohr y mecanocuántico.
Bach.	2º	Contenido	Evolución histórica de la ordenación periódica de los elementos químicos.
Bach.	2º	Contenido	Distintas interpretaciones del carácter ácido-base de las sustancias químicas.

Fuente: elaboración propia

Estos resultados ponen de manifiesto cómo los aprendizajes sobre historia de la química en la etapa de ESO son mucho más limitados que en la etapa de Bachillerato, a nivel curricular. Respecto a su peso curricular en términos de objetivos, contenidos y criterios de evaluación, los resultados de la revisión del currículo mediante la ficha de recogida de datos cuantitativos para las materias de Física y Química de ESO y Bachillerato (área de química) aparecen recogidos en la *Tabla 12*. Los porcentajes se han calculado sobre el total de objetivos, contenidos y criterios de evaluación únicamente del área de química para las materias de Física y Química, incluyendo aquellos establecidos curricularmente como comunes con el área de física; a excepción de los objetivos de tercer y cuarto curso de ESO, en los que se han contabilizado sobre el total de objetivos de etapa para Ciencias de la Naturaleza.

Para el caso de los objetivos relacionados con la historia de la química en ESO, el currículo los recoge como objetivos generales de etapa para la materia de Ciencias de la Naturaleza de primer ciclo de ESO (primer y segundo curso), compartiendo dichos objetivos las materias de Biología y Geología y de Física y Química de segundo ciclo (tercer y cuarto curso). Por el contrario, los

objetivos en la etapa de Bachillerato sí se encuentran asociados a cada materia en cada curso, siendo diferentes los objetivos de la materia de Física y Química de primer curso y los de la materia de Química de segundo curso.

Asimismo, se han contabilizado no solo los elementos curriculares vinculados a aprendizajes sobre historia de la química, sino también aquellos relacionados con sus utilidades didácticas, los cuales se explicitarán en el epígrafe 4.1.b.

Tabla 12. Elementos curriculares relacionados con la historia de la química

Etapa	Curso	Objetivos	Contenidos	Criterios de evaluación
ESO	3º	11%	5%	33%
	4º		0%	25%
BACH.	1º	25%	11%	75%
	2º	29%	9%	22%

Fuente: elaboración propia

Tal y como ponen de manifiesto los resultados de la revisión recogidos en la *Tabla 12*, la historia de la química no presenta un papel curricular destacado, con la excepción de su papel en los

criterios de evaluación de la materia de Física y Química de primer curso de Bachillerato, en la que el 75% de los criterios de evaluación del área de química atienden a la historia de la química; por lo que puede aceptarse la hipótesis de partida (H1a). La mayoría de materias presentan muy pocos objetivos, contenidos y criterios de evaluación vinculados a la historia de la química, existiendo ausencia de elementos curriculares sobre historia de la química para el caso de los contenidos de Física y Química de cuarto curso de ESO. Para este curso, las referencias a la historia de la química se encuentran únicamente entre los objetivos (comunes a toda la etapa) y los criterios de evaluación. De este modo, la revisión realizada se erige como un posible elemento crítico para la reflexión didáctica sobre el currículo de ciencias en torno a la necesidad de una mayor presencia de la historia de la ciencia en el mismo, en consonancia con las voces procedentes de la investigación educativa.

No obstante, cabe destacar que pese a no presentar un papel curricular mayoritario, los aprendizajes sobre historia de la química sí están presentes en todas las materias de Física y Química de ESO y Bachillerato, pudiendo agruparse en cinco temáticas fundamentales, cuya distribución en los distintos cursos y etapas de

recoge en la *Tabla 13*. Esto ha permitido aceptar también la hipótesis inicialmente planteada en torno a esta cuestión (H1b).

Tabla 13. Distribución de las temáticas de los aprendizajes sobre historia de la química en las materias de Física y Química por curso y etapa

Temática	Curso y etapa			
	ESO		BACHILLERATO	
	3º	4º	1º	2º
Evolución histórica de los modelos atómicos	x		x	x
Evolución histórica de la clasificación de los elementos químicos			x	x
Establecimiento de las leyes fundamentales de las combinaciones químicas y su papel en la conformación de la teoría atómica de Dalton			x	
Evolución histórica de las distintas teorías ácido-base				x
Orígenes de la química orgánica a raíz de la crisis de la teoría del vitalismo.		x	x	

Fuente: elaboración propia

Tal y como puede observarse en la *Tabla 13*, primer curso de Bachillerato es el curso donde se abordan mayor número de temáticas sobre historia de la química, seguido de segundo curso y,

en ambos casos, por encima de la etapa de ESO. Por tanto, es posible colegir que la historia de la química se concentra a nivel curricular mayoritariamente en los cursos superiores de la Enseñanza Secundaria, tanto a nivel de temáticas abordadas como de elementos curriculares vinculados a los aprendizajes sobre historia de la química.

4.1.b (P2) ¿Existen aprendizajes curriculares sobre historia de la química recogidos en el resto de materias de ESO y Bachillerato, tanto científico-tecnológicas como humanístico sociales?

La revisión del currículo ha revelado que los aprendizajes sobre historia de la química en el currículo LOE de ESO y Bachillerato no se limitan a las materias de Física y Química, existiendo aprendizajes relacionados en otras materias, tal y como se recoge en la *Tabla 14* para el caso de ESO y en la *Tabla 15*, para Bachillerato, lo cual ha permitido aceptar las hipótesis planteadas inicialmente (H2a, H2b).

Cabe destacar que se han incluido en este epígrafe los elementos curriculares referentes a Ciencias de la Naturaleza por tratarse de competencias y objetivos, los cuales son comunes en

toda la etapa de ESO para Ciencias de la Naturaleza en primer y segundo curso y Biología y Geología y Física y Química en tercer y cuarto curso; pero no exclusivos de las materias de Física y Química de ESO, como los elementos recogidos en el epígrafe anterior.

Tabla 14. Aprendizajes curriculares sobre historia de la química en el resto de materias de ESO

Curso	Materia	Elemento curricular	Aprendizaje
Todos	Ciencias de la Naturaleza	Competencia	La historia de la ciencia presenta sombras que no han de ser olvidadas. Además, ha contribuido a la libertad de pensamiento y a la expresión de los derechos humanos.
Todos	Ciencias de la Naturaleza	Objetivo	En la historia de la ciencia han existido debates que superaron dogmatismos, así como revoluciones científicas.
4º	Biología y Geología	Contenido	Importancia del descubrimiento de la estructura del ADN en el desarrollo de las ciencias biológicas.
4º	Tecnología	Contenido y criterio de evaluación	Evolución de la tecnología a lo largo de la historia a partir del análisis de objetos y valorando los inventos y descubrimientos en su contexto económico y social.

Fuente: elaboración propia

Tabla 15. Aprendizajes curriculares sobre historia de la química en el resto de materias de Bachillerato

Curso	Materia	Elemento curricular	Aprendizaje
2º	Física	Contenido	La crisis de la física clásica y el nacimiento de la física moderna.
1º	Ciencias para el Mundo Contemporáneo	Contenido Contenido	Desarrollo de nuevos fármacos. Desarrollo de nuevos materiales. Desarrollo de estrategias de cuidado medioambiental.
2º	Griego	Contenido	Las raíces griegas de la ciencia moderna.
2º	Latín	Contenido	Vocabulario científico de origen grecolatino.
1º	Historia del Mundo Contemporáneo	Contenido	El impacto científico y tecnológico en la historia contemporánea.
2º	Historia del Arte	Contenido	Revolución industrial e impacto de los nuevos materiales en la arquitectura.
1º	Filosofía y Ciudadanía	Contenido	Filosofía, ciencia y los modos del saber.
2º	Historia de la Filosofía	Contenido	Los orígenes del pensamiento filosófico. El renacimiento y la revolución científica.

Fuente: elaboración propia

A tenor de la revisión realizada es posible deducir que la existencia de aprendizajes sobre historia de la química fuera de las materias de Física y Química es mayor en la etapa de Bachillerato. Asimismo, mientras que en ESO dichos aprendizajes se restringen a materias del ámbito científico-tecnológico, en Bachillerato los aprendizajes sobre historia de la química no presentes en las materias de Física y Química se dan tanto en materias del ámbito humanístico-social, como del ámbito científico-tecnológico. La mayor presencia de aprendizajes sobre historia de la química en Bachillerato que en ESO concuerda con lo observado para las materias de Física y Química. Por ello, es posible señalar que los aprendizajes sobre historia de la química son mayores en la etapa de Bachillerato que en la de ESO a nivel curricular.

Merece especial atención el hecho de que los aprendizajes sobre historia de la química en Bachillerato, dejando al margen las materias de Física y Química, se concentren mayoritariamente en materias propias del Bachillerato de Humanidades y Ciencias Sociales (Latín, Griego, Historia del Arte, Historia del Mundo Contemporáneo), frente a materias propias del Bachillerato de Ciencia y Tecnología (Física). Asimismo, para las materias comunes a ambas modalidades de Bachillerato, dichos aprendizajes

están presentes tanto en materias del ámbito humanístico-social (Filosofía y Ciudadanía, Historia de la Filosofía), como en Ciencias del Mundo Contemporáneo, única materia del ámbito científico-tecnológico común a todos los Bachilleratos en el marco LOE.

Así, la revisión realizada para el caso de la historia de la química revela las distintas ubicaciones que puede presentar la historia de la ciencia en el currículo. Dado su carácter interdisciplinar, es posible localizarla tanto en materias humanístico-sociales, como en materias científico-tecnológicas. Dicha interdisciplinariedad muestra cómo la historia de la ciencia permite superar el carácter compartimentado propio del currículo, en la línea apuntada por diversos autores, como Lombardi (1997).

4.1.c (P4) ¿Qué utilidades didácticas otorga el currículo de ESO y Bachillerato a la historia de la química en las materias de Física y Química?

Las utilidades didácticas otorgadas por el currículo LOE a la historia de la química en las materias de Física y Química de ESO y Bachillerato, tal y como ha revelado la revisión del currículo, se recogen en la *Tabla 16*.

Tabla 16. Utilidades didácticas curriculares de la historia de la química en las materias de Física y Química de ESO y Bachillerato

Etapa	Curso	Elemento curricular	Utilidad didáctica
ESO	3º	Criterio de evaluación	La historia de la ciencia revela la ciencia como un trabajo colectivo, en permanente construcción y con los mismos condicionamientos que cualquier actividad humana.
Bach.	Ambos	Criterio de evaluación	La historia de la ciencia puede actuar como recurso para la evaluación de aprendizajes de Física y Química.
Bach.	1º	Criterio de evaluación	La historia de la ciencia pone de manifiesto el carácter hipotético del conocimiento científico, sometido a continua revisión.
Bach.	1º	Objetivo	La historia de la ciencia contribuye al desarrollo del pensamiento crítico al permitir comparar distintas teorías.
Bach.	Ambos	Objetivo	La historia de la ciencia permite mostrar las distintas estrategias implicadas en la construcción de conceptos, leyes, modelos y teorías científicas (químicas, específicamente para segundo curso de Bachillerato).
Bach.	Ambos	Objetivo	La historia de la ciencia muestra el carácter tentativo y evolutivo del conocimiento químico, evitando posiciones dogmáticas.

Fuente: elaboración propia

A excepción de la materia de Física y Química de cuarto curso de ESO, el currículo asigna a la historia de la química utilidades didácticas específicas, tanto a nivel de competencias, como de objetivos y criterios de evaluación. No obstante, cabe destacar la existencia de utilidades didácticas otorgadas a la historia de la química de forma general para toda la etapa de ESO, así como para la materia de Ciencias de la Naturaleza (incluyendo Física y Química de tercer y cuarto curso), también en toda la etapa de ESO, tal y como se recoge en la *Tabla 17*.

Tabla 17. Elementos competenciales vinculados a la historia de la química en

ESO

Curso	Materia	Elemento curricular	Utilidad didáctica
Todos	Ciencias de la Naturaleza	Competencia	Conocer cómo determinados debates fueron cruciales para el avance de la ciencia y para comprender la evolución de la sociedad y analizar la sociedad actual.
Todos	Ciencias de la Naturaleza	Competencia	La historia de la ciencia proporciona textos de interés para la adquisición de la comprensión lectora.
Todos	Todas	Competencia	La historia de la ciencia constituye una oportunidad para el desarrollo de la competencia aprender a aprender.
Todos	Todas	Competencia	Reconocer la naturaleza, fortalezas y límites de la actividad investigadora como construcción social del conocimiento a lo largo de la historia.

Fuente: elaboración propia

A tenor de lo expuesto anteriormente, es posible aceptar la hipótesis específica H4a, pues la utilidad didáctica de la historia de la química más destacada en el currículo de Física y Química es su papel para comprender la naturaleza de la química como actividad humana. Asimismo, es posible rechazarla hipótesis específica H4b, pues las utilidades didáctica de la historia de la química en el

currículo LOE de Física y Química de ESO y Bachillerato no se limitan a los criterios de evaluación, estando también presentes a nivel de objetivos (ESO y Bachillerato) y competencias (ESO). Las utilidades didácticas que el currículo LOE otorga al resto de materias de ESO y Bachillerato se abordan en el siguiente epígrafe.

4.1.d (P5) ¿Existen utilidades didácticas relacionadas con la historia de la química en el currículo del resto de materias de ESO y Bachillerato, tanto científico-tecnológicas como humanístico-sociales?

La historia de la química presenta diversas utilidades didácticas en la etapa de ESO, tanto en primer como en segundo ciclo, así como tanto en materias del ámbito científico-tecnológico, como del ámbito de las humanidades y las ciencias sociales, tal y como se recoge en la *Tabla 18*.

Tabla 18. Utilidades didácticas curriculares de la historia de la química en el resto de materias de ESO

Curso	Materia	Elemento curricular	Utilidad didáctica
Todos	Ciencias de la Naturaleza	Objetivo	La historia de la ciencia revela el carácter tentativo y creativo de las ciencias de la naturaleza
Todos	Matemáticas	Objetivo	La historia de la ciencia muestra las matemáticas como parte integrante de nuestra cultura.
Todos	Lengua Castellana y Literatura	Contenido	La historia de la ciencia proporciona textos de interés para abordar la comprensión de textos académicos sobre ciencia.
Todos	Lengua Extranjera	Contenido	La historia de la ciencia revela la presencia de la ciencia entre los acontecimientos históricos culturales que conforman los países donde se habla una determinada lengua.
4º	Historia y cultura de las religiones	Contenido	La historia de la ciencia revela las interrelaciones entre religiones, ciencia y filosofía, así como sus coincidencias y diferencias en la interpretación del mundo.

Fuente: elaboración propia

Para las materias de Bachillerato, la historia de la química presenta un mayor papel a nivel de utilidad didáctica entre las materias del ámbito científico-tecnológico, frente a las materias del

ámbito humanístico-social, tal y como puede colegirse a tenor de los resultados recogidos en las *Tablas 19* y *20*, respectivamente.

Tabla 19. Utilidades didácticas curriculares de la historia de la química en el resto de materias científico-tecnológicas de Bachillerato

Curso	Materia	Elemento curricular	Utilidad didáctica
1º	Biología y Geología	Objetivo	La historia de la ciencia muestra la ciencia como un proceso cambiante y dinámico.
2º	Biología	Objetivo	La historia de la ciencia permite valorar la influencia del contexto histórico en la ciencia, entendida como actividad en constante construcción.
2º	Biología	Criterio de evaluación	La historia de la ciencia permite analizar explicaciones científicas en diferentes contextos, incluyendo el papel de las controversias científicas.
2º	CC. de la Tierra y Medioambientales	Objetivo	La historia de la ciencia muestra la importancia de los aspectos sociológicos, económicos y culturales en los estudios sobre el medio ambiente.
2º	Geología	Contenido	La historia de la ciencia muestra el carácter tentativo y de continua búsqueda del conocimiento geológico, atendiendo a logros y limitaciones.

Todos	Matemáticas	Objetivo	La historia de la ciencia muestra la importancia del razonamiento matemático y las demostraciones en el avance de la ciencia y la tecnología, asumiendo el desarrollo de las matemáticas como un proceso cambiante y dinámico, ampliamente relacionado con otras áreas.
Todos	Matemáticas aplicadas a las CCSS	Objetivo	La historia de la ciencia muestra las relaciones entre matemáticas y los contextos culturales, económicos...
1°	Ciencias para el Mundo Contemporáneo	Objetivo	La historia de la ciencia muestra las contribuciones de la ciencia y la tecnología a la mejora de la calidad de vida de las personas, estando condicionadas a los distintos contextos sociales y económicos.
1°	Ciencias para el Mundo Contemporáneo	Objetivo	La historia de la ciencia revela una influencia recíproca entre el desarrollo científico-tecnológico y los contextos sociales, políticos y económicos

Fuente: elaboración propia

Tabla 20. Utilidades didácticas curriculares de la historia de la química en las materias humanístico-sociales de Bachillerato

Etapa	Curso	Materia	Elemento curricular	Utilidad didáctica
Bach.	Todos	Lengua Castellana y Literatura	Contenido	La historia de la ciencia permite atender a los discursos científico-técnicos.
Bach.	Todos	Lengua Castellana y Literatura	Criterio de evaluación	La historia de la ciencia permite trabajar el análisis de textos científicos académicos.
Bach.	Todos	Lengua Extranjera	Criterio de evaluación	La historia de la ciencia proporciona documentos de interés para trabajar aspectos científico-históricos de interés en los países cuya lengua se aprende.
Bach.	1º	Economía	Objetivo	La historia de la ciencia permite relacionar la ciencia en varios contextos políticos y sociales con distintos hechos económicos.
Bach.	2º	Economía de la Empresa	Criterio de evaluación	La historia de la ciencia permite valorar críticamente las consecuencias sociales y medioambientales de la actividad empresarial y del agotamiento de recursos naturales.

Fuente: elaboración propia

Tras la revisión del currículo, es posible señalar que la historia de la química presenta un papel curricular si no mayoritario, sí destacable a nivel de utilidad didáctica en ESO y en Bachillerato, no por estar presente solo en materias del ámbito científico-tecnológico (aceptándose la hipótesis específica H5a), sino también de las humanidades y las ciencias sociales (aceptándose H5b).

4.2 La historia de la química en los libros de texto de ESO y Bachillerato

El análisis de los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato mediante el instrumento metodológico presentado en el capítulo anterior, ha permitido dar respuesta a las preguntas de investigación relacionadas con los aprendizajes (P3) y las utilidades didácticas de la historia de la química en dichos materiales educativos (P6, P7). A continuación se recogen los resultados obtenidos, discutidos desde el marco teórico presentado al inicio de la presente tesis doctoral; el cual cobra especial importancia para la pregunta sobre historia de la química escolar y estudios históricos sobre ciencia (P3); que se aborda a continuación.

4.2.a (P3) ¿Presentan los aprendizajes sobre historia de la química recogidos en los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato diferencias significativas con los trabajos académicos en historia de la ciencia?

El epígrafe 1.4 del capítulo 1 de la presente tesis doctoral recogió una serie de estudios y perspectivas de interés en el marco académico de la historia de la química, los cuales, tal y como se recoge en el capítulo 3, guiaron el diseño metodológico de parte del estudio empírico. A continuación se recoge la respuesta a estas cuestiones, lo que ha permitido aceptar, rechazar o matizar las correspondientes hipótesis específicas (H3a-H3i). Dichas respuestas han sido posibles a partir del uso conjunto del cuestionario y de la ficha de registro de referencias a la historia de la química.

(a) En relación al papel de Lavoisier en la (primera) revolución química, el 40 % de los libros de texto de 3º ESO lo presentan como el fundador de la química moderna. El resto, bien únicamente como autor de la ley de conservación de la masa o como el químico que aceptó la definición de elemento de Boyle.

Ninguno de los libros de texto de 4º ESO analizados aborda significativamente el papel de Lavoisier en la conformación de la

química moderna; aunque sí se hace alusión a sus experiencias sobre la calcinación de los metales, la ley de conservación de la masa o a su uso sistemático y cuidadoso de la balanza.

El 80% de los libros de texto de 1º Bachillerato alude a Lavoisier como padre fundador de la química moderna, aunque en algunos de ellos comparte su “paternidad” con otros químicos, como Berzelius (A1) o Dalton (B1). Asimismo, cabe destacar que uno de los textos analizados se refiere a la revolución química (D1), término ausente de manera casi unánime en la muestra analizada. Así, dicho texto habla de la revolución de la química a finales del siglo XVIII, con más de un siglo de retraso con respecto a la física, aludiendo a la complejidad de los sistemas químicos y a la necesidad de nuevas técnicas de medida y trabajo experimental como principales causas de dicho retraso.

Además, cabe destacar otro de los libros de texto que alude explícitamente al carácter colectivo de la creación de la ciencia química, si bien ignorando el papel de las mujeres en la historia de la química y desde un enfoque positivista: “En el siglo XVIII una centuria después de que se produjese los mayores avances en el campo de la física, una serie de hombres de ciencias aplicaron el método científico a las investigaciones químicas” (E1, p.14).

El 40% de los libros de texto de 2º Bachillerato hacen referencia a Lavoisier como fundador de la química; aunque también se indica en uno de ellos que dicha “paternidad” es objeto de discrepancias entre franceses y británicos, que la otorgan a Boyle (E2).

A tenor de los resultados anteriores es posible colegir que el 40% de la muestra analizada sitúan a Lavoisier como padre de la química, de los cuales, el 15% presenta una “paternidad compartida” entre Lavoisier y otros químicos (Dalton, Berzelius, Boyle). Solo un 5% presenta la conformación de la química moderna como un proceso colectivo. En consonancia con la hipótesis propuesta inicialmente (H3a), esto pone de manifiesto la persistencia en los libros de texto de la imagen de Lavoisier como padre fundador de la química, revelando en este punto una importante desconexión entre estudios académicos e historia de la química escolar.

(b) En relación al experimento de la lámina de oro y la radiación alfa que llevó a Rutherford a proponer su modelo atómico nuclear, cabe destacar que el 60% de los libros de texto que conforman la muestra analizada sí explican los resultados

experimentales utilizando el modelo de Thomson: 60% de los libros de texto de 3° ESO, 60% de los libros de 4° ESO, 80% de los libros de 1° Bachillerato y 40% de los libros de 2° Bachillerato. El 25% no aborda dicho experimento. El 15% restante presenta los resultados experimentales únicamente para justificar las características del modelo de Rutherford.

Estos resultados difieren de los esperados de acuerdo a la hipótesis planteada inicialmente (H3b) y son de gran interés pues señalan que Rutherford no se enfrentó al experimento desde una mirada “limpia de carga teórica”, sino que lo hizo desde un marco teórico en el que situamos al modelo de Thomson.

No obstante, ninguno de los libros de texto de la muestra analizada apunta la explicación que Thomson dio a las partículas alfas desviadas de su trayectoria. Este punto, sí señalado por la investigación histórica, sería de gran interés para la historia de la química escolar, enriqueciendo la misma, y para que el estudiante comprenda que la experimentación no dicta la teoría más adecuada de forma directa, sino que diversas interpretaciones rivalizan y conviven en la construcción de nuevos modelos y teorías; evitando una visión triunfalista de la química en la que un experimento conduce de forma directa al modelo válido.

(c) Atendiendo a la síntesis de la urea de Wöhler en 1828 y a su papel en la crisis del vitalismo, cabe destacar que la cuestión no es abordada en los libros de texto de 3º ESO analizados. Sin embargo, la cuestión es abordada unánimemente por el resto de libros de texto de 4º ESO y de los dos cursos de Bachillerato, exceptuando uno de los libros de 2º Bachillerato (B2).

El 60% de los libros de texto de 4º ESO indican que supuso el fin definitivo del vitalismo. Así, mientras en uno de los textos puede leerse que “este descubrimiento echaba por tierra la teoría del vitalismo” (E4, p. 260), en otros se considera que fue uno de los experimentos implicados en el fin del vitalismo: “la síntesis de la urea de Wöhler y de otros compuestos orgánicos, como el ácido acético condujo al total abandono de esta primitiva teoría” (A4, p. 260).

En la etapa de Bachillerato, el 80% de los libros de texto de 1º Bachillerato considera la síntesis de la urea como uno de los experimentos que condujeron al abandono del vitalismo. En 2º Bachillerato, el 20% presenta la síntesis de la urea de Wöhler como el experimento que “invalidó de forma casual” la teoría del vitalismo (C2, p. 290); otro 20% no aborda la cuestión (B2) y el 60% restante, presentan además de la síntesis de la urea de Wöhler,

la síntesis del ácido acético por Kolbe en 1845 como experimentos que condujeron hacia el fin del vitalismo y los inicios de la química orgánica.

Por tanto, del total de libros de texto que abordan el fin del vitalismo (70 % de la muestra), el 25 % considera la síntesis de la urea de Wöhler como un experimento que acabó con el vitalismo y el 45% como el experimento que supuso el inicio del fin del vitalismo, junto con otras síntesis.

Estos resultados permiten matizar la hipótesis de partida (H3c), pues una mayor parte de los textos que abordan la historia de la química orgánica no inscriben el fin del vitalismo únicamente en la experiencia de Wöhler. No obstante, la síntesis de la urea de Wöhler, bien en exclusiva o como un experimento más, se presenta como un elemento clave en el nacimiento de la química orgánica en el 70% de los libros de texto analizados, lo que muestra otro punto de desconexión entre historia de la química escolar y los estudios históricos académicos sobre química, pues se obvian diversos aspectos señalados desde la historia de la ciencia: que originalmente la síntesis de la urea de Wöhler no tuvo consecuencias en la teoría del vitalismo, que el interés inicial en el trabajo publicado por Wöhler en 1828 fue que la urea no fuese una sal y que antes de este

experimento, los químicos ya trabajaban con el supuesto de que la síntesis inorgánica y la síntesis orgánica podían compartir las mismas leyes. Aspectos ausentes en los libros de texto analizados, pese a ser cuestiones consolidadas en historia de la ciencia.

(d) Respecto a la teoría del flogisto, solo se han localizado aprendizajes destacables sobre la misma en los libros de texto de Bachillerato. Del total de libros de texto de dicha etapa, solo el 30% presenta la teoría del flogisto: un 20% señalándola como una teoría superada por los trabajos de Lavoisier y un 10% indicando que fue una teoría útil para explicar fenómenos químicos diversos con anterioridad a la irrupción de Lavoisier.

La ausencia generalizada del flogisto en la etapa de ESO y la escasa presencia en Bachillerato, permiten aceptar la hipótesis original (H3d), pues el análisis de los libros de texto ha mostrado que estos desatienden el papel del flogisto en la historia de la química. De este modo se pierde una importante oportunidad para que el estudiante comprenda cómo se han de aproximar a teorías científicas pretéritas, lejos de presentismos, sino valorando las distintas ideas en su contexto.

(e) Si atendemos a las prácticas, saberes y tradiciones históricamente anteriores a la ciencia química, el 80% de los libros de texto analizados sí las incluyen: el 80% de los libros de 3º ESO, el 60% de los libros de 4º ESO y el 100% de los libros de Bachillerato, tanto en primer como en segundo curso; lo cual permite rechazar la hipótesis de partida (H3e).

Esta presencia relevante de episodios de la historia de la química anteriores a la conformación de la química científica consiste fundamentalmente en referencias al embalsamamiento de muertos y elaboración de perfumes en Egipto (C3); la existencia de elementos químicos conocidos desde la Prehistoria como el oro, el azufre o el cobre (A3) o el desarrollo de técnicas artesanas para la obtención de metales, pigmentos y conservantes (B3). En esta línea, C4 recoge que “hace 7000 años, los sumerios y más tarde los asirios y los babilonios ya extraían el oro, la plata y el cobre, conocían los tintes y el curtido de pieles” y que “en Egipto, hace casi 6000 años, producían jabón, tintes, venenos, perfumes y cosméticos”, afirmándose que “aquello no era química en el sentido científico que nosotros entendemos hoy” (C4, p. 265). Asimismo, no solo se atiende a la transformación de la materia para obtener sustancias y materiales de interés, sino también a su transformación con fines

energéticos: “desde la Antigüedad, el ser humano ha utilizado algunas sustancias, como la madera o el carbón, para obtener la luz y el calor” (A1, p. 306).

Entre las prácticas y saberes pretéritos mencionados, también se incluye la alquimia en el 25% de los libros de texto analizados (en el 20% de los libros de ESO y en el 30% de los de Bachillerato); aunque con escasa relevancia. En algunos libros de texto se la presenta como un periodo que aportó conocimiento de propiedades de sustancias y desarrolló técnicas experimentales; como E3 o E1. Este último indica que “la alquimia permitió obtener sustancias y técnicas de gran interés social, como los colorantes y la metalurgia” (E1, p. 14). Otro texto, C2, explica que la alquimia aportó: descubrimiento y preparación de ácidos (ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido sulfúrico...) y bases durante el siglo VIII, técnicas de destilación desarrolladas en la Edad Media, preparación de lejía a partir de cenizas o de jabón por celtas y romanos.

De este modo, las referencias a la alquimia se hacen desde un punto de vista triunfalista: mostrando qué aspectos de la alquimia demostraron ser de interés para la química posterior. No se valoran las prácticas químicas en su contexto y se desatienden cuestiones de interés histórico y didáctico como las huellas terminológicas de la

alquimia en la química, salvo alguna referencia puntual y anecdótica a nombres y símbolos anteriores a los propios de la química moderna. Por ejemplo, el texto B3 recoge los diversos nombres que se dieron al sulfato de magnesio: en función de su descubridor, sal admirable de Lémery; del lugar de procedencia, sal de Inglaterra; de alguna de sus propiedades, sal amarga o de sus propiedades médicas, sal purgante (B3).

(f) En relación al atomismo en perspectiva histórica, el 60% de los libros de texto analizados sitúa en la filosofía griega clásica los orígenes del atomismo; el 45% sitúa las primeras explicaciones corpusculares de los fenómenos químicos en el marco de la teoría atómica de Dalton y solo el 15% alude a explicaciones previas a dicha teoría en un marco corpuscular; lo que permite aceptar la hipótesis específica de partida (H3f).

Frente a la idea de que “el atomismo fue desterrado del pensamiento” (A3, p.76) por imposición de la visión continua de la materia promovida por filósofos como Aristóteles; otros textos recogen que “fueron las teorías filosóficas de Aristóteles las que prevalecieron, si bien a lo largo de los tiempos siempre hubo defensores de la teoría atomista, como Epicuro de Samos, Lucrecio

y Giordano Bruno, entre otros” (D2, p. 29). En esta línea, otro de los textos indica que “hubo que esperar hasta el siglo XVII para que, debido principalmente a las experiencias de Boyle sobre la elasticidad de los gases, muchos científicos ilustres (Galileo, Bacon, Hook, Newton, etc) admitieran la relevancia de la idea atómica” (D1, p. 23).

(g) Atendiendo a la historia de los modelos de enlace químico, se incluyen referencias en el 30% de los libros de texto de ESO y en la totalidad de libros de texto de Bachillerato. Dichas referencias consisten en referencias a Lewis como artífice de la teoría electrónica del enlace químico. Los libros de texto de ESO no hacen referencia a las contribuciones de Langmuir, presente en el 40% de los libros de texto de Bachillerato analizados. En cualquier caso, estas referencias consisten en menciones superficiales, sin particularizar en la apropiación, popularización, extensión o difusión de los trabajos de Lewis.

Solo uno de los libros de texto analizados hace referencia a la situación en que los modelos de enlace químico fueron construidos, en los siguientes términos: “la naturaleza del enlace químico fue objeto de estudio de muchas disputas entre químicos del siglo XIX”

(A2, p.68). Por ello, es posible aceptar la hipótesis de partida (H3g), pues si bien se menciona a Lewis, la historia de los modelos es anecdótica, superficial y basada en epónimos que acompañan la introducción de determinados aprendizajes sobre enlace químico.

(h) Solo un 30% de los libros de texto analizados atiende a las mujeres en la historia de la química; en su mayoría (25%) en la etapa de ESO. Entre las mujeres nombradas encontramos a: Hipatia de Alejandría, Marie Curie, Ève Curie, Henrietta Leavitt, Williamina Fleming, Annie Jump Cannon, Rosalind Franklin, Lise Meitner o Rachel Carson.

Uno de los libros de texto incluye al final del mismo un epígrafe dedicado a “grandes científicos” (E3). De entre 76 personalidades de la historia de la ciencia, solo se nombra a una mujer: Marie Curie. Esta invisibilidad de las mujeres en la historia de la química en los libros de texto no solo se puede observar a tenor de las escasas referencias al nombre de científicas. También recae en la ausencia de discusión sobre la cuestión ciencia y género, más allá de algún apunte superficial a Rosalind Franklin, cuyo “olvido en la concesión del Premio Nobel ha sido una de las mayores injusticias de la historia de estos premios” (E3, p.114).

Esta doble invisibilidad de las mujeres en los libros de texto de ESO y Bachillerato permite aceptar la hipótesis específica H3h y a la vez contrasta con el currículo LOE en materia de género.

En este punto, cabe destacar que la LOE establece como uno de los objetivos generales del Bachillerato “fomentar la igualdad efectiva de derechos y oportunidades entre hombres y mujeres, analizar y valorar críticamente las desigualdades existentes e impulsar la igualdad real” (REAL DECRETO 1467/2007, BOE núm. 266, p. 45382). Para el caso de la ESO, la igualdad entre mujeres y hombres aparece como un elemento a trabajar conjuntamente desde las distintas competencias, especialmente desde la competencia social y ciudadana, así como desde materias concretas como Educación para la Ciudadanía y los Derechos Humanos. Sin embargo, la cuestión de ciencia y género no es abordada específicamente por el currículo de las distintas materias de Física y Química ni de ESO, ni de Bachillerato.

Este vacío curricular en torno a esta cuestión contrasta con los trabajos de Matthews (1994b, 2014), los cuales apuntaron la temática ciencia-género y las cuestiones éticas en el currículo de ciencias como uno de los desafíos pendientes de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza de las ciencias, tal y como se

apuntó en el primer capítulo de esta tesis doctoral. Desde este marco, la ausencia de elementos curriculares que aborden explícitamente el papel de las mujeres en la historia de la ciencia (y en particular, de la química) constituye una importante limitación del currículo LOE de Física y Química, a la par que revela cierta desconexión entre el marco educativo normativo y la investigación en estudios históricos y sociales sobre ciencia. Desconexión que también se pone de manifiesto en los libros de texto de ESO y Bachillerato, como el análisis realizado ha revelado.

(i) La totalidad de los libros de texto de ESO y Bachillerato analizados hace alusión directa a los instrumentos científicos en algún episodio de la historia de la química. No obstante, el papel otorgado a los instrumentos en las narrativas sobre historia de la química recogidos en los mismos no es destacado, lo que permite aceptar la hipótesis de partida (H3i).

Entre los instrumentos mencionados por los libros de texto en su presentación de la historia de la química encontramos: versorio, electroscopio, tubo de descarga (rayos catódicos y anódicos), pila de Volta, balanza o el espectroscopio de tres brazos. Estos instrumentos se presentan de forma puntual para explicar alguna ley

o descubrimiento en la historia de la química, pero se obvian cualesquiera de las perspectivas sobre instrumentos científicos esbozadas en el capítulo 1 del presente trabajo.

Las controversias en torno al uso de instrumentos científicos y la obtención e interpretación de los datos experimentales no son abordadas. Relacionado no tanto con los instrumentos, pero sí con este último punto, cabe mencionar que uno de los libros de texto aborda la controversia en torno al experimento de la gota de aceite de Millikan (E3). Bajo el título “¿Manipularías los datos de un experimento científico”, el texto recoge:

Aunque normalmente no aparece en los libros de texto (...) Millikan ha sido acusado de fraude científico. En sus publicaciones (Millikan repitió el experimento él solo en 1912 y publicó los resultados en 1913), Millikan decía que se incluían todas las medidas que había realizado, mientras que en sus notas de laboratorio aparecían anotaciones como “medida mala”, “desechar” o “datos magníficos, guardar”; y solo publicó unas 60 medidas de las más de 160 que realizó. En definitiva, al parecer engañó para reforzar unos valores que él creía correctos, y que así resultaron serlo. (E3, p. 218)

Este tipo de referencias históricas son fundamentales a la hora de abordar críticamente la historia de la química. La referencia a las diferencias entre los trabajos publicados y las notas de laboratorio constituye un punto ampliamente señalado por los historiadores de la ciencia. Su transposición al ámbito educativo, como este libro de texto hace, encierra interesantes potencialidades didácticas que se han de incentivar; pues frente a una imagen idealizada de la ciencia basada en el método científico, revela la complejidad de las prácticas científicas y la necesidad de reflexión ética en torno a la praxis científica como en cualquier otra actividad humana.

4.2.b (P6) ¿Qué utilidades didácticas específicas otorgan los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato a la historia de la química?

El análisis de los libros de texto ha revelado que los aprendizajes sobre historia de la química recogidos por el currículo sí están presentes en los libros de texto. No obstante, en la línea apuntada por la hipótesis específica de partida H6a, en los libros de texto es posible encontrar otros aprendizajes sobre historia de la química no fijados explícitamente por el currículo. De este modo, la historia de la química actuaría como herramienta para

contextualizar otros aprendizajes escolares; propiciando con ello la incorporación de otros aprendizajes sobre historia de la química no curriculares. Algunos de ellos han sido abordados en el epígrafe anterior, como la historia de los modelos de enlace químico, o de prácticas y saberes pretéritos y anteriores a la química científica.

No obstante, cabe destacar al menos dos aspectos vinculados a la historia de la química y recogidos en los libros de texto y no en el currículo: la historia medioambiental y la historia de la terminología química. En ambos casos se trata de líneas de investigación de gran interés en historia de la ciencia en las últimas décadas y que cuentan con nuevos enfoques consolidados. Respecto a la primera, cabe destacar las alusiones a cumbres, documentos y legislación relacionada con el medio ambiente. Respecto a la segunda, referencias al origen de nombres y símbolos de elementos químicos suelen ser recurrentes en los libros de texto analizados. Incluso uno de los libros de texto se pronuncia en torno a las recomendaciones de la IUPAC para la nomenclatura y la formulación inorgánica de 2005, indicando que “como en general son más complejas y confusas, la comunidad educativa las ha obviado y apenas se utilizan” (C1, p. 323).

Este tipo de cuestiones encierran interesantes opciones de análisis que conviene señalar. En primer lugar, porque pueden constituir posibles futuras líneas de investigación. En segundo lugar, porque ponen de manifiesto que solo el análisis del currículo se revela insuficiente para conocer qué historia de la química está presente en el plano normativo. En lo referente a la historia de la química en las actividades del área de química, puede aceptarse la hipótesis de partida (H6b), pues el análisis realizado ha revelado minoritarias las actividades que usan la historia de la química en los libros de texto, siendo mayores en la etapa de ESO que de Bachillerato para la mayoría de editoriales, tal y como se recoge en la *Tabla 21*.

Tabla 21. La historia de la química en las actividades de las unidades didácticas del área de química

	ESO		BACHILLERATO	
	3º	4º	1º	2º
A	4%	7%	3%	2%
B	3%	5%	<1%	<1%
C	1%	<1%	1%	<1%
D	7%	5%	1%	1%
E	6%	2%	2%	<1%

Fuente: elaboración propia

Aunque minoritarias, las actividades localizadas responden a una tipología diversa, que de mayor a menor presencia en los libros de texto, son: preguntas sobre aprendizajes específicos sobre historia de la química, búsqueda de información sobre determinados científicos o experimentos de la historia de la química, interpretación de gráficas con datos históricos, introducción de elementos para contextualizar o amenizar la presentación de actividades, crucigramas y otros juegos, ejercicios para relacionar modelos y sus características, lectura y comentario de textos históricos, preguntas que plantean qué hubiera ocurrido si un determinado episodio de la historia de la química hubiese transcurrido de otro modo, representar sustancias usando simbología anterior a la actual y lectura de una entrevista a un historiador de la ciencia.

Cabe destacar la ausencia generalizada de actividades de historia de la química en segundo curso de Bachillerato. Si bien la mayoría de actividades de los libros de texto responden a la tipología propia de la Selectividad/Prueba de Acceso a Estudios Universitarios, cabe destacar que uno de los libros de texto (E2), incluye entre sus mínimas actividades sobre historia de la química, dos cuestiones extraídas de las Pruebas de Acceso a Estudios

Universitarios de la Comunidad de Madrid de 1998 y 2002. Es por ello que conviene apuntar hasta qué punto la historia de la química forma parte de este tipo de pruebas y la necesidad de abordar este tipo de investigaciones desde la didáctica de la química (Fuente y Calvo Pascual, Junio de 2017).

4.2.c (P7) ¿Qué papel general desempeña la historia de la química en los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato?

Dejando al margen epónimos frecuentes a la hora de presentar leyes y teorías en los libros de texto analizados (ley de X, teoría de Y...), la hipótesis específica planteada inicialmente (H7a) asumía que la historia de la química se concentraba mayoritariamente en la introducción y cierre de las unidades didácticas; así como en las imágenes. Los resultados obtenidos a través de la ficha de recogida de datos cuantitativos y de la ficha de registro ha permitido aceptar solo parcialmente dicha hipótesis.

Si bien la historia de la química juega un papel considerablemente significativo en los textos introductorios y finales de las unidades didácticas (especialmente, en los libros de texto de ESO); no lo tiene en el caso de las imágenes. Todo ello

puede colegirse de los resultados recogidos en las *Tablas 22, 23 y 24*, los cuales han sido calculados respecto al total de textos introductorios/finales o imágenes del área de química.

Tabla 22. La historia de la química en la introducción de las unidades didácticas del área de química

	ESO		BACHILLERATO	
	3º	4º	1º	2º
A	43%	40%	13%	21%
B	57%	83%	56%	33%
C	17%	33%	40%	30%
D	NP	NP	71%	27%
E	20%	0%	NP	NP

Fuente: elaboración propia

Tabla 23. La historia de la química en el cierre de las unidades didácticas del área de química

	ESO		BACHILLERATO	
	3º	4º	1º	2º
A	43%	80%	NP	50%
B	14%	67%	NP	0%
C	29%	33%	40%	20%
D	83%	50%	NP	NP
E	80%	33%	NP	NP

Fuente: elaboración propia

Tabla 24. La historia de la química en las imágenes de las unidades didácticas del área de química

	ESO		BACHILLERATO	
	3º	4º	1º	2º
A	10%	8%	7%	6%
B	9%	15%	7%	5%
C	5%	4%	13%	4%
D	9%	7%	10%	5%
E	15%	9%	10%	14%

Fuente: elaboración propia

Respecto a las imágenes, si bien su análisis excede los objetivos de esta tesis doctoral, el estudio realizado ha revelado que en su mayoría se trata de retratos y fotografías de científicos y científicas individuales, representación de modelos, instrumentos o experimentos relevantes en la historia de la química. Salvo la célebre fotografía de la Conferencia Solvay de 1927 o del grabado de Proust y la referencia a su estancia en Segovia a pie de imagen, llama la atención la ausencia generalizada de imágenes procedentes de congresos, así como de químicos y químicas de origen español. Espacios y cultura material de la química, reivindicados como elementos fundamentales y activos en la historia de la química por los historiadores de la ciencia en los últimos años, también permanecen invisibles en la cultura visual de los libros de texto; junto con las instituciones científicas, fundamentales a la hora de valorar la ciencia como una actividad colectiva.

Las imágenes históricas juegan un papel decorativo en las unidades didácticas, algo que ha sido apuntado por Bel Martínez (2017) para el marco LOGSE (1991-2006) y LOMCE (2013-). A través de un análisis cualitativo de 27 libros de texto de Historia en Educación Primaria, el autor ha apuntado que la mayor parte de las imágenes de estos textos tienen un papel meramente decorativo.

Para el marco LOE de Educación Secundaria (2007-2016) y para los 20 libros de texto de Física y Química analizados, el estudio realizado ha permitido apuntar en esta línea, constituye un punto de interés que puede actuar de punto de partida para futuros trabajos.

Finalmente, cabe destacar que los libros de texto analizados hacen alusión a publicaciones, congresos e instituciones de la historia de la química, rechazándose la hipótesis específica de partida (H7b), aunque destacando que es mínimo, anecdótico y superficial el papel que estos desempeñan en las narrativas históricas de los libros de texto analizados.

Entre ellos encontramos textos como *El químico escéptico* de Boyle (1661), el trabajo de Gay-Lussac publicado en *Annales de Chimie*, *Nuevo Sistema de Filosofía Química* de Dalton (1808), *Philosophical Transactions* de Du Fay, *Orígenes de la vida* de Oparin (1924), la *Declaración de Johannesburgo sobre Desarrollo Sostenible* (2002), el *Protocolo de Kioto*, la *Declaración Universal sobre la Diversidad Cultural* de la UNESCO (2001), *Primavera silenciosa* de Carson (1962), el *Tratado de Maastricht*, *Tratado Elemental de Química* de Lavoisier (1789) y *Método de Nomenclatura Química* de Lavoisier y “otros” (1787).

Entre los congresos: la XI Conferencia de Pesos y Medidas (París, 1960), la Cumbre del Clima de Río de Janeiro (1992), la Cumbre del Clima de Durban (2011), la Exposición Universal de Montreal de 1967, la V Conferencia Solvay (1927), el Congreso de Karlsruhe (1860) y la Cumbre Internacional de Kioto (1997).

Entre las instituciones, cabe citar la Oficina Internacional de Pesos y Medidas de Sèvres (Francia), el Centro de Investigación de Pesos y Medidas de Darmstadt, el Observatorio de Harvard College, la Universidad de Berkeley y la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada.

Los libros de texto analizados centran su atención en una historia de las ideas y conceptos químicos, perdiendo por tanto la oportunidad de mostrar la química como una actividad humana cambiante en prácticas y saberes a lo largo de la historia. La alusión a este tipo de referencias permite valorar los rasgos que un área del saber científico ha de presentar para conformarse como una disciplina científica. Entre ellos, la existencia de una literatura que define su lenguaje (revistas, libros...), los diversos instrumentos de comunicación (congresos, reuniones...) en torno a un conjunto de problemas no resueltos y la existencia de ciertas instituciones a las que se asocian determinadas responsabilidades (Nye, 1993).

Capítulo 5. Conclusiones y retos

“La auténtica magia del descubrimiento no consiste en buscar nuevos paisajes, sino en mirar con nuevos ojos”.

Marcel Proust

Estructura del capítulo:

5.1 Conclusiones

5.2 Comentario final

5.1 Conclusiones

A tenor de los resultados presentados en el capítulo anterior ha sido posible comprobar la validez de las hipótesis específicas planteadas en torno a las siete preguntas de investigación que conforman el estudio empírico de esta tesis doctoral. A modo de conclusiones, se recogen a continuación las respuestas a estas siete cuestiones, evaluando la validez de las hipótesis generales del estudio empírico para, seguidamente, abordar el grado de consecución de los objetivos de la investigación. Como comentario final, a partir de la reflexión en torno a los objetivos logrados, se plantearán las principales limitaciones del estudio empírico y los posibles retos y futuras líneas de trabajo.

(C1) La historia de la química no presenta un papel destacado en el currículo LOE de las materias de Física y Química de ESO y Bachillerato, de acuerdo a la hipótesis general correspondiente (H1). Tal y como asumía una de las hipótesis específicas de partida

(H1a), los aprendizajes sobre historia de la química no se localizan únicamente entre los contenidos de la materia de Física y Química, también los encontramos entre los criterios de evaluación. Tal es el caso de los orígenes de la química orgánica y la crisis del vitalismo en cuarto curso de ESO o la evolución histórica de la clasificación de los elementos químicos en primer curso de Bachillerato. En ambos casos nos encontramos ante aprendizajes sobre historia de la química que no serían considerados si solo se atendiese a los contenidos curriculares, pues aparecen entre los criterios de evaluación.

Este aspecto tiene importantes implicaciones metodológicas para la investigación didáctica en torno a la historia de la ciencia en el currículo, pues pone de manifiesto la necesidad de revisiones curriculares amplias. Asimismo, es de interés para la práctica docente, pues señala al profesorado que el papel curricular de la historia de la ciencia va más allá de ciertos contenidos. Así, el currículo muestra cómo el estudiante no solo ha de aprender determinados aprendizajes sobre la historia de la química, siendo la historia de la química una herramienta para aprender química y sobre química. Es por ello que esta tesis doctoral ha revisado el currículo atendiendo tanto a los aprendizajes, como a las utilidades

didácticas de la historia de la química. A estas últimas nos referiremos más adelante.

El instrumento metodológico diseñado para la revisión del currículo, a través de una ficha de registro de datos cuantitativos ha mostrado que la historia de la química supone como máximo un 5% de los contenidos del área de química en ESO y un 11% en Bachillerato. Para los objetivos, solo el 11% de los objetivos del área de química guardan relación con la historia de la química en ESO, mientras que en Bachillerato encontramos que los objetivos vinculados a la historia de la química no superan el 29%. En los criterios de evaluación del área de química la historia de la química no supera el 33% de los mismos en ESO, mientras que en Bachillerato existe una notable diferencia entre primer y segundo curso. En primer curso, el 75% de los criterios de evaluación del área de química abordan la historia de la química, mientras en segundo curso solo lo hace el 22%.

Asimismo, segundo curso de Bachillerato constituye una excepción a la distribución del peso curricular de la historia de la química. Mientras que en ESO y primer curso de Bachillerato la historia de la química se localiza en mayor porcentaje en los criterios de evaluación, seguidos de objetivos y contenidos; en

segundo curso de Bachillerato, la historia de la química se localiza en mayor porcentaje entre los objetivos, seguido de criterios de evaluación y contenidos.

En cuanto a contenidos, Física y Química de primer curso de Bachillerato es la materia con mayor presencia de historia de la química, seguida de Química de segundo curso de Bachillerato; Física y Química de tercer curso de ESO y, finalmente, Física y Química de cuarto curso de ESO, materia sin historia de la química en sus contenidos. En dicha materia, los aprendizajes sobre historia de la química, como la importancia de la síntesis de la urea de Wöhler en 1828, se sitúan en los criterios de evaluación. De ahí la importancia de revisiones curriculares que no atiendan únicamente a los contenidos a fin de localizar los aprendizajes curriculares sobre historia de la química, tal y como se ha señalado anteriormente.

Atendiendo a los criterios de evaluación, Física y Química de primer curso de Bachillerato es la materia con mayor presencia de historia de la química, seguida de Física y Química de tercer curso de ESO; Física y Química de cuarto curso de ESO y, finalmente, Química de segundo curso de Bachillerato. Esta menor presencia de la historia de la química entre los criterios de evaluación en la materia de Química de segundo curso de Bachillerato coincide con

el hecho de que sean los libros de texto de Química de segundo curso de Bachillerato los que presentan un menor porcentaje de actividades vinculadas a la historia de la química, tal y como el análisis de los libros de texto ha puesto de manifiesto.

Finalmente, respecto a los objetivos, la historia de la química tiene un mayor protagonismo en Bachillerato (mayor en segundo curso que en primero) que en ESO, etapa en la que las materias de Física y Química de tercer y cuarto curso comparten objetivos. Esta mayor relevancia de la historia de la química entre los objetivos de Bachillerato respecto a la ESO contrasta con el hecho de que los libros de texto de Bachillerato otorguen menos importancia a las actividades basadas en la historia de la química, frente a los libros de texto de ESO, donde el porcentaje de actividades basadas en historia de la química es mayor para 4 de las 5 editoriales analizadas.

El instrumento metodológico diseñado ha puesto de manifiesto que el conjunto de aprendizajes sobre historia de la química en el currículo LOE de las materias de Física y Química de ESO y Bachillerato se reduce a cinco temáticas fundamentales, lo que ha permitido aceptar otra de las hipótesis específicas (H1b). Dichas temáticas son: la evolución histórica de los modelos atómicos, la

evolución histórica de la clasificación de los elementos químicos, el establecimiento de las leyes fundamentales de las combinaciones químicas y su papel en la formulación de la teoría atómica de Dalton, la evolución histórica de las teorías ácido-base y los orígenes de la química orgánica a partir de la crisis del vitalismo por la síntesis de la urea de Wöhler.

Estas temáticas, al contar con respaldo curricular, configuran la historia de la química que cabe esperar encontrar en los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato. No obstante, como se ha podido constatar a lo largo del estudio empírico, gracias al empleo de fichas de registro junto con el cuestionario diseñado, en los libros de texto es posible encontrar temáticas propias de la historia de la química no recogidas en el currículo. Este hecho pone de manifiesto la necesidad de atender conjuntamente tanto al currículo, por su papel normativo, como a los libros de texto, por su amplia utilización como recursos didácticos, si se pretende ofrecer una panorámica general sobre la historia de la química en el marco educativo.

(C2) La ficha de registro del currículo diseñada ha permitido mostrar que existen aprendizajes curriculares sobre historia de la

química en el resto de materias de ESO y Bachillerato, tanto humanístico-sociales, como científico-tecnológicas, lo que permite aceptar la hipótesis general correspondiente (H2) y las hipótesis específicas asociadas (H2a, H2b). Si bien matizando que en el caso de ESO, más allá de la materia de Física y Química, la historia de la química se concentra en materias científico-tecnológicas, mientras que en Bachillerato se localiza tanto en materias científico-tecnológicas, como humanístico-sociales, siendo mayor el número de referencias encontradas en estas últimas.

Este aspecto tiene profundas implicaciones, tanto historiográficas, como educativas. Respecto a las primeras, la historia de la ciencia, como área que trasciende las divisiones entre ciencias y humanidades, se encuentra deslocalizada en el currículo escolar y en absoluto concentrada en una única materia o en un determinado ámbito. Respecto a las segundas, dicha interdisciplinariedad propia de la historia de la ciencia se erige como un poderoso argumento para comunicar las distintas materias escolares, tanto a nivel de práctica docente, como de investigación educativa.

La historia de la ciencia se revela de este modo como una valiosa oportunidad para una educación que supere las férreas

divisiones en las que tradicionalmente se divide el conocimiento, a la par que se revela como una excelente herramienta para afrontar la interdisciplinariedad que desde la didáctica de las ciencias se ha subrayado como uno de los retos de la educación científica del siglo XXI.

(C3) Los aprendizajes sobre historia de la química presentes en los libros de texto -con independencia de que además sean aprendizajes fijados por el currículo o no- presentan diferencias significativas en contenidos y enfoques respecto a los trabajos académicos en historia de la ciencia, tal y como establecía la hipótesis general de partida (H3).

De la aplicación del cuestionario diseñado a la muestra de libros de texto y tras complementar la información obtenida con la recopilada en la ficha de registro, se colige una fuerte desconexión entre historia de la química escolar e historia de la química académica. Desconexión subrayada por diversos autores, tal y como se abordó en el primer capítulo de esta tesis doctoral, y que se hace patente en el hecho de que de las nueve hipótesis específicas asociadas a esta pregunta de investigación, cada una de las cuales explicitaba dicha desconexión para nueve ítems específicos de la

historia de la química, seis fueron aceptadas (H3a, H3d, H3f, H3g, H3h, H3i), dos matizadas (H3b, H3c) y tan solo una rechazada (H3e).

El análisis de estas cuestiones de interés histórico para la química y su contraposición con la historia de la química escolar no solo ha puesto de manifiesto la ausencia de perspectivas y resultados de la investigación histórica sobre química en los libros de texto de ESO y Bachillerato y la correspondiente presencia de falsedades históricas, en la línea apuntada por varios autores como Campanario (1998) y Bertomeu Sánchez (2011). Esta desconexión entre historia y enseñanza de la química en los libros de texto también encierra profundas implicaciones didácticas en la medida en que contribuye a generar una imagen distorsionada de la química, tanto de su naturaleza como actividad humana, como de su pasado.

De este modo, a tenor del análisis de los libros de texto a través del cuestionario y de la ficha de registro diseñados a tal efecto, es posible relacionar las hipótesis específicas revisadas sobre dicha desconexión con las visiones deformadas sobre ciencia establecidas por Gil Pérez (1993) recogidas en el capítulo 1 de la presente tesis doctoral.

Así, la mayoría de los libros de texto presentan la conformación de la química como una obra de Lavoisier (H3a), lo que concuerda con una visión individualista de la química; desatienden el papel del flogisto en la historia de la química (H3d), obvian explicaciones corpusculares de los fenómenos químicos en un marco anterior a Dalton (H3f) y no atienden a la historia del enlace químico (H3g), en sintonía con una visión aproblemática y ahistórica de la química; descuidan el papel de las mujeres en la historia de la química (H3h), en consonancia con una visión velada de la química; y no otorgan a los instrumentos científicos un papel activo en la historia de la química (H3i), en la línea de una visión empirista que simplifica la experimentación a una mera obtención de datos.

Por el contrario, los libros de texto sí atienden a prácticas y saberes anteriores históricamente a la ciencia química (H3e), lo cual contribuye a evitar una visión totalmente descontextualizada y ahistórica de la química. En un estadio intermedio, en su mayoría, los libros de texto sí consideran la explicación de los resultados del experimento de la lámina de oro y la radiación alfa de acuerdo al modelo de Thomson, evitando así una visión ateórica de la actividad científica en química, aunque ignoran la explicación que este científico dio a la desviación de partículas alfa (H3b), lo cual

concuerta con una visión aproblemática y acumulativa de la química en la que la misma avanzaría linealmente, ignorando cómo convivieron diferentes interpretaciones de un mismo hecho experimental.

Además, si bien la mayoría de libros de texto no presenta a Wöhler como el único artífice de la crisis del vitalismo (considerando la síntesis de la urea uno de los aspectos de dicho proceso) algo que se alejaría de una visión netamente individualista de la química, no consideran que la asociación de este experimento a la crisis del vitalismo fuese una labor posterior de los químicos orgánicos de finales del siglo XIX (H3c), en la línea de una visión ahistórica y aproblemática de la química.

Asimismo, el estudio realizado comparte algunas de las conclusiones a las que llegó Traver i Ribes (1996) a partir del estudio de libros de texto de Física y Química de COU y BUP en el periodo 1978-1993. Para libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato del periodo 2007-2016, la investigación realizada revela la persistencia de una visión claramente descontextualizada del conocimiento científico. Para el caso de la química, esta visión se basa en alusiones minoritarias a su historia, basando la misma más en narrativas épicas propias de la memoria

química que de los estudios académicos, como en el caso de Lavoisier y la fundación de la química, de Wöhler y el nacimiento de la química orgánica o de Dalton y la explicación corpuscular de los fenómenos de la naturaleza.

La química se muestra a través de la historia de la química escolar como una actividad humana que avanza linealmente, que obvia convivencia, controversias y rivalidades entre modelos, por ejemplo, para el caso del enlace químico, y que cuando las aborda, lo hace de forma parcial y superficial, como en el caso del experimento de la lámina de oro y la explicación de los resultados experimentales.

Finalmente, cabe señalar que la ausencia de determinadas cuestiones históricas sobre química, como la historia de las distintas interpretaciones sobre el enlace químico o de la teoría del flogisto y su papel en la historia de la química, se sitúa en la línea apuntada por la investigación, tanto didáctica, como histórica.

Respecto a la primera, la ausencia de la historia del enlace químico concuerda con lo subrayado por Niaz (2014), quien la señaló como una cuestión poco abordada por la investigación educativa. Algo que se explica al tener en cuenta su invisibilidad en los libros de texto en el marco legislativo estudiado.

En relación a la segunda, el hecho de que los libros de texto no aprovechen las oportunidades didácticas que brinda la teoría del flogisto desde la óptica apuntada por Bertomeu Sánchez y García Belmar (2006), mientras que sí siguen presentado a Lavoisier como padre fundador de la química, refuerza una imagen aporreada de la química que la didáctica de las ciencias ha de cuestionar y puede mejorar.

(C4) Con independencia de las temáticas hasta ahora mencionadas, el currículo LOE otorga a la historia de la química distintas utilidades didácticas en las materias de Física y Química de ESO y Bachillerato, tal y como establecía la hipótesis general de partida (H4).

La revisión del currículo realizada a través del instrumento metodológico diseñado ha mostrado que la historia de la química se erige en el currículo como una herramienta didáctica para que el alumno valore la química como una actividad humana colectiva, en permanente construcción, con los mismos condicionamientos que cualquier actividad humana y productora de un conocimiento de carácter tentativo e hipotético, sometido a continua revisión. Imagen curricular de la química, construida a través de su historia, que se

sitúa próxima a la mostrada por los estudios históricos y sociales sobre ciencia, lo que permite aceptar una de las hipótesis específicas planteadas (H4a).

En contra de la otra hipótesis específica inicialmente planteada (H4b) y tal y como ya se ha apuntado anteriormente para el caso de los aprendizajes curriculares, la historia de la química sí está presente en los criterios de evaluación de todas las materias de Física y Química de ESO y Bachillerato; estando también presente en los objetivos y a nivel competencial.

Finalmente, cabe destacar que además de la utilidad didáctica anteriormente referida por la que la historia de la química actúa de herramienta para mostrar la naturaleza de la química como actividad humana, el currículo de Física y Química de ESO y Bachillerato recoge otras utilidades didácticas de la historia de la química, como su papel como herramienta para trabajar la comprensión lectora y como oportunidad para el desarrollo del pensamiento crítico y de la competencia aprender a aprender. Dichas utilidades didácticas son de gran interés pues ponen de manifiesto el potencial de la historia de la ciencia en el marco competencial, algo de gran interés actual en el marco educativo.

(C5) Frente al currículo, caracterizado por la alta compartimentación de los aprendizajes, la revisión interdisciplinar del mismo realizada ha revelado la historia de la química como una potente herramienta para superar las divisiones entre materias escolares, tanto de las ciencias y la tecnología, como de las humanidades y las ciencias sociales. Esto permite aceptar la hipótesis general de partida (H5) y las correspondientes hipótesis específicas, dada la existencia de elementos curriculares que vinculan otras materias científico-tecnológicas (H5a) y materias humanístico-sociales (H5b) con las materias de Física y Química de ESO y Bachillerato a través de la historia de la química.

Esta presencia de la historia de la química en el currículo de otras materias como herramienta didáctica coincide con la presencia de aprendizajes sobre historia de la química en otras materias científico-tecnológicas y humanístico-sociales. No obstante, cabe destacar que si bien no se han localizado aprendizajes significativos sobre historia de la química en materias humanístico-sociales en ESO; sí se localizan utilidades didácticas de la historia de la química en este tipo de materias, como en Lengua Castellana y Literatura, Lengua Extranjera o Historia y Cultura de las Religiones.

La revisión realizada ha permitido, por tanto, apuntar en la misma dirección que los trabajos publicados sobre historia y enseñanza de las ciencias han señalado, tal y como se apuntó en el capítulo 1: la historia de la ciencia es una herramienta para la colaboración entre materias escolares en el ejercicio de la práctica docente y para la investigación educativa desde la didáctica de las ciencias experimentales y las matemáticas, de las ciencias sociales, de la filología o de la filosofía, entre otras didácticas específicas.

(C6) Tal y como recogía la hipótesis general de partida (H6), la mayoría de libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato centran la historia de la química en temáticas fijadas por el currículo y le otorgan un papel minoritario en las actividades.

Respecto al primer punto, en la línea apuntada por la hipótesis específica correspondiente (H6a), los libros de texto recogen aprendizajes sobre historia de la química que no figuran entre las temáticas explícitamente fijadas por el currículo sobre historia de la química, si bien de forma ora superficial ora anecdótica, en la línea apuntada por Moreno González (2000). Así, aunque con una relevancia minoritaria, algunos libros de texto hacen alusión a la evolución del lenguaje químico y de conceptos, modelos y leyes de

la química en relación al enlace químico, la termodinámica química, la cinética química, el equilibrio químico o los procesos de transferencia de electrones (reacciones redox).

El empleo de la ficha de registro ha permitido comprobar que dichas referencias además de superficiales, se inscriben en una visión netamente internalista de la historia de la química, aunque su presentación desde los estudios históricos sobre ciencia encerraría múltiples potencialidades, tal y como se ha apuntado para el caso del enlace químico. Asimismo, desde un enfoque más externalista, aunque menos destacado, los libros de texto de Física y Química incluyen referencias significativas a la historia medioambiental, área que se ha erigido en los últimos años como una potente línea de investigación en el marco de los estudios históricos sobre ciencia.

En este punto, cabe destacar que esta conjunción de ambas visiones constituye una característica de una “buena historia” de la química para el aula, en la línea apuntada por Quintanilla Gatica et al. (2014), si bien siendo necesaria una presencia más proporcionada entre ambas; potenciando la incorporación de elementos que favorezcan una visión externalista de la historia de la química.

En relación a la segunda hipótesis específica (H6b), también aceptada, la ficha de recogida de datos cuantitativos en las unidades didácticas de los libros de texto de Física y Química ha permitido mostrar que las actividades sobre historia de la química son minoritarias entre las actividades del área de química. Las actividades basadas en historia de la química no superan el 7% en ninguno de los libros de texto de ESO analizados, ni el 3% en el caso de los libros de texto de Bachillerato. Merece especial atención el caso de primer curso de Bachillerato. Para la materia de Física y Química en este curso y etapa, la historia de la química supone un 75% del total de criterios de evaluación curriculares del área de química; mientras que en ninguna de las editoriales estudiadas las actividades basadas en la historia de la química superan el 3% de las actividades de química.

Cabe destacar que las actividades con referencia a la historia de la química responden a una tipología variada que comprende desde un papel embellecedor en la redacción de enunciados a la interpretación de gráficas con datos históricos, la lectura de textos relacionados con la historia de la química o la búsqueda de información sobre científicos y científicas a crucigramas y juegos basados en la historia de la química y preguntas específicas en torno

a aprendizajes curriculares sobre historia de la química, siendo estas últimas las actividades con mayor presencia en los libros de texto.

Se hace, por tanto, necesario un mayor enriquecimiento del resto de actividades, así como el desarrollo de otras nuevas. Actividades sobre historia de la química que no han de olvidar la necesidad de adecuar el interés didáctico a los requerimientos historiográficos, tal y como se ha apuntado desde la propia didáctica de las ciencias (Quintanilla Gatica et al., 2014). En esta línea, la ficha de registro empleada ha permitido localizar actividades en las que se exige al estudiante que explique qué hubiese ocurrido si los resultados experimentales de experiencias propias del estudio de los modelos atómicos hubiesen sido otros. Este tipo de preguntas, aun con interés didáctico, estarían fomentando una interpretación anacrónica y presentista de la historia de la química, al juzgar hechos pretéritos desde la química actual. Es por ello que el diseño de actividades y propuestas didácticas basadas en la historia de la química exige una comunicación fluida entre didáctica e historia de la ciencia, en la línea presentada por Bertomeu Sánchez y García Belmar (2002) para los instrumentos científicos y la enseñanza de las ciencias.

En esta línea, el análisis llevado a cabo pone de manifiesto las limitaciones de una enseñanza basada estrictamente en el libro de texto y, por tanto, de la necesidad de utilizar una variedad de recursos para enriquecerla, tal y como han señalado Calvo Pascual y García Murillo (2015) para el caso de la química.

(C7) El uso combinado de las distintas herramientas que componen el instrumento metodológico para el análisis de la muestra de libros de texto permite afirmar que la historia de la química no tiene un papel didáctico destacado en los libros de texto de Física y Química, tal y como apuntaba la hipótesis de partida (H7).

Además de referencias basadas en epónimos en el texto, la historia de la química es empleada para la introducción y el cierre de las unidades didácticas del área de química. En ESO, la mayoría de libros de texto incluyen algún tipo de referencia a la historia de la química tanto en la introducción, como en el cierre de las unidades didácticas. Por el contrario, en Bachillerato la historia de la química se presenta más frecuentemente en los textos que introducen las unidades didácticas del área de química, siendo minoritaria en el cierre, pues 4 de las 5 editoriales analizadas no

incluye textos de cierre en al menos uno de los cursos de Bachillerato.

Asimismo, las imágenes históricas recogidas en los libros de texto son minoritarias respecto al total, no superando el 15% del total de imágenes de las unidades didácticas de química en ninguno de los libros de texto analizados. Además, las imágenes sobre historia de la química recogidas no tienen un papel didáctico significativo, más allá de embellecer visualmente la presentación de los contenidos, proporcionar gráficas de evolución temporal de algún parámetro o permitir que el alumnado ponga rostro a los protagonistas de la historia de la química, en su mayoría científicos, entre otros. Por todo ello solo es posible aceptar parcialmente y con matices la correspondiente hipótesis específica (H7a).

Respecto a las narrativas históricas recogidas en los libros de texto, el empleo de fichas de registro ha permitido comprobar que los mismos sí hacen referencias a algunos textos, documentos, congresos o instituciones propias de la historia de la química; aunque de forma superficial, obviando las perspectivas historiográficas de interés didáctico y construyendo un relato individualista de la química, que obvia el carácter colectivo de esta ciencia y los elementos que históricamente determinaron su

conformación como disciplina científica (Nye, 1993). Teniendo en cuenta estos matices, es posible rechazar la hipótesis específica correspondiente (H7b).

A tenor de lo expuesto anteriormente y teniendo en cuenta la tercera conclusión de este estudio (C3), la historia de la química recogida en los libros de texto actúa de almacén de la genealogía y cronología de la química, situándose todavía hoy lejos de los estudios históricos sobre ciencia.

5.2 Comentario final

La presente tesis doctoral se iniciaba planteando una triple pregunta: ¿qué historia de la química está presente en el currículo y en los libros de texto de ESO y Bachillerato en el marco LOE, cómo y para qué? A fin de dar respuesta a esta pregunta, la investigación realizada se vertebró en torno a 4 objetivos específicos.

El primer objetivo planteaba la identificación (¿qué?) de los aprendizajes sobre historia de la química presentes en el currículo LOE de ESO y Bachillerato. La revisión interdisciplinar del mismo ha permitido identificar no solo los aprendizajes sobre historia de la química en las materias de Física y Química de ESO y Bachillerato, reducidos a una pocas temáticas, sino también aprendizajes sobre

historia de la química en materias científico-tecnológicas (en ESO y Bachillerato) y en materias humanístico-sociales (en Bachillerato). Todo ello ha revelado la historia de la ciencia en general y de la química en particular como una potente herramienta para comunicar las distintas materias escolares. Interdisciplinariedad que, cada vez más, se erige no solo como un reto, sino como una necesidad de la educación científica actual.

El segundo objetivo de la investigación consistía en analizar (¿cómo?) la historia de la química presente en los libros de texto, comparando la historia de la química escolar con los trabajos académicos en historia de la ciencia. En este punto, el estudio realizado desde la didáctica y la historia de la ciencia ha mostrado que existe una desconexión significativa entre la historia de la química recogida en los libros de texto y la historia de la ciencia como área de estudio e investigación. Dicha desconexión no solo implica la existencia de falsedades o inexactitudes históricas o la ausencia de enfoques historiográficos renovados, también la persistencia de imágenes deformadas sobre la química como actividad científica a través de las narrativas históricas imperantes en los libros de texto. Es por ello que, todavía hoy, la historia de la química escolar está lejos de ser una “buena historia” de la química

para el aula de ciencias, al menos desde el marco de los libros de texto. La colaboración entre historia y didáctica de las ciencias se hace, por tanto, fundamental a fin de solventar este problema de desconexión. Asimismo, se hace fundamental fomentar el uso combinado de otro tipo de otros recursos educativos que permitan compensar dicha deficiencia histórico-didáctica detectada en los libros de texto para el ámbito de la química.

El tercer y cuarto objetivo de la presente tesis doctoral asumieron conocer y describir las utilidades didácticas (¿para qué?) que la historia de la química desempeña en el currículo y en los libros de texto de Física y Química de ESO y Bachillerato, respectivamente. La revisión del currículo ha mostrado que el mismo brinda a la historia de la química de diversas funciones que van más allá de la enseñanza de la química y de los contenidos, estando presente en otras materias y estando vinculada también a objetivos, competencias y criterios de evaluación.

Así, la principal utilidad didáctica de la historia de la química en el currículo de las materias de Física y Química es su papel como herramienta para que el alumno comprenda y valore las características de la química como actividad humana, lejos de una visión positivista, simple y simplista; destacando su naturaleza

colectiva, dinámica y dependiente del contexto histórico, social, político y económico en el que se desarrolla. Asimismo, la historia de la química actúa como un poderoso nexo curricular con otras materias del currículo, tanto científico-tecnológicas, como humanístico-sociales.

El análisis de los libros de texto, por el contrario, ha mostrado el papel poco destacado que tiene la historia de la química como herramienta didáctica en los mismos. Las imágenes sobre historia de la química son minoritarias frente al total y con un valor principalmente estético. Las actividades que hacen uso de la historia de la química suponen una minoría frente al total de actividades de química, llegando a localizarse preguntas que contraponen el interés didáctico al interés histórico; algo que la propia investigación en didáctica de las ciencias ha subrayado como arriesgado, por introducir una visión deformada de la ciencia y de su pasado.

La historia de la química en los libros de texto se concentra en ciertas introducciones y cierres a las unidades didácticas, sobre todo en ESO, consistiendo las referencias a las mismas en alusiones puntuales, superficiales y anecdóticas; en la línea que el profesor Antonio Moreno González (2000) señaló hace más de una década.

Si bien los distintos componentes del marco metodológico han permitido satisfacer los objetivos de la presente tesis doctoral; cabe finalizar estas líneas aludiendo a las posibles propuestas de mejora y futuras líneas de actuación.

La mayoría de cuestiones históricas abordadas en esta investigación han sido ampliamente abordadas, superadas e incluso abandonadas por los historiadores de la ciencia. En los últimos años, la historia de la ciencia ha dirigido la mirada a otras preguntas y a otros protagonistas. Sin embargo, estos trabajos no han permeado en la historia de la ciencia escolar, al menos para el caso de la química. Es por ello que las futuras líneas de actuación han de ir encaminada a construir puentes entre educación e historia de las ciencias.

Como aprendizaje sobre historia de la química no curricular pero sí recogido en los libros de texto, se ha localizado, gracias a la ficha de registro, referencias significativas a la historia medioambiental. A diferencia de las cuestiones abordadas en este trabajo, la historia medioambiental es una línea de trabajo actual en historia de la ciencia. Trabajar en dicha línea de investigación atendiendo también a su conexión con las aulas constituye una oportunidad para los historiadores de la ciencia de llevar sus

trabajos al marco educativo. Marco en el que la didáctica de las ciencias, ampliamente interesada por las relaciones entre ciencia y medioambiente, puede contribuir.

La historia medioambiental, detectada en los libros de texto gracias a la versatilidad del instrumento metodológico diseñado, no fue concebida en el primer estadio de la investigación por no constituir un aprendizaje sobre historia de la química fijado explícitamente en el marco curricular. Sin embargo, merece ser destaca aquí no solo como propuesta de futura línea de actuación, sino por el hecho de mostrar la necesidad de atender no solo al currículo para conocer qué historia de la química está presente en educación, cómo y para qué. Los libros de texto han permitido ampliar esta mirada.

En esta línea, existen diversas posibilidades para enriquecer el estudio realizado contribuyendo a una mirada más amplia y panorámica a la historia de la química escolar: analizar el currículo de otras Comunidades Autónomas y sus posibles y potenciales particularidades para el ámbito de la historia de la ciencia; comparar el análisis realizado para el marco LOE con el marco LOMCE; aumentar la muestra de libros de texto analizada y realizar un estudio comparativo de las distintas editoriales; ampliar el análisis

a recursos digitales y audiovisuales, tales como blogs o documentales; atender a materiales de divulgación de interés para el aula; o incorporar nuevas cuestiones historiográficas cuyas potencialidades didácticas estén por explorar, entre otras muchas posibilidades.

Finalmente, cabe señalar que el estudio realizado se ha llevado a cabo desde la didáctica y la historia de la ciencia. Sin embargo, los estudios sociales y la filosofía de la ciencia también son de gran interés para el estudio de la educación científica.

Precisamente, la filosofía de la química constituye un área emergente de gran interés actual para pensar la química, atendiendo a su historia y a su relación con otras disciplinas, como la física. Dada la estrecha relación entre física y química en educación, una mirada desde la filosofía de la ciencia constituiría un aspecto de interés didáctico.

La presente tesis doctoral que aquí concluye se inició aludiendo a qué se había entendido por historia de la química. A través de las páginas anteriores se ha podido constatar que la historia de la química es mucho más que una sucesión de fechas y nombres. La historia de la química es un ejercicio de reflexión crítica.

Es una oportunidad para pensar la química actual no como el resultado de una evolución lineal de prácticas y saberes pretéritos y superados; sino como una actividad humana cuyas fronteras, públicos, intereses y prácticas han sido cambiantes a lo largo de la historia. Una historia que se pierde en la noche de los tiempos, en los primeros pasos de la humanidad. Una ciencia que no puede entenderse de forma completa desligada del contexto histórico y social en el que se forjó, se forja y se forjará. Una ciencia con historia que se revela con un mayor potencial didáctico que las narrativas históricas basadas en una sucesión cronológica de grandes figuras épicas, experimentos cruciales y fechas clave. Una historia de la ciencia fundamental para el desarrollo del pensamiento crítico desde las aulas.

John Read, químico y autor de varios trabajos sobre historia de la química, recuperó en el prefacio de su obra *Por la alquimia a la química* uno de los editoriales del *Times* del 11 de agosto de 1956. En aquellas líneas se recogía que:

Probablemente serán más los ojos científicos que los humanísticos los que harán ver el mundo a nuestros nietos, pero no lo comprenderán –y en ello están hoy de acuerdo hasta los mismos científicos-, a menos que conozcan algo del prolongado

esfuerzo histórico que ha dado lugar a su aspecto actual y sean capaces de comprender la propia ciencia como un proceso temporal, hecho que los humanistas están acostumbrados a considerar. (Read, 1960, p. XIII)

La brecha entre ciencias y humanidades supone, desde esta óptica, no solo un grave problema cultural; también un problema educativo para la enseñanza de las ciencias en general, y de la química en particular.

La enseñanza de la química necesita de la historia de la química si se desea que el estudiante aprenda no solo química, también sobre química. La historia de la química necesita de la enseñanza de la química si desea que tanto futuros ciudadanos como futuros científicos sean capaces de valorarla no como algo propio del pasado, sino como algo necesario para el futuro.

Espero que el estudio aquí presentado sirva para continuar enlazando historia y didáctica de la química, superando la brecha entre ciencias y humanidades a través de la historia de la ciencia en el marco educativo y avanzando con paso firme hacia una reflexión humanística sobre química en las aulas. Hacia una única cultura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Estudios

Adúriz Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia: La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.

Aragón de la Cruz, F. (2016). Efeméride de la primera publicación de Lewis sobre el enlace covalente: «The Atom and the molecule», *Journal of American Chemical Society. Boletín del Grupo de Didáctica e Historia de la Química y la Física (RSEF, RSEQ)*, 26, 3-5.

Bachelard, G. (1951). *L' Actualité de l'Histoire des Sciences*. París: Découverte.

Bel Martínez, J. C. (2017). Imagen y libros de texto de Historia en Educación Primaria: estudio comparativo a partir de un análisis cualitativo. *Revista de Educación*, 377, 82-112.

Bensaude-Vincent, B., y Simon, J. (2008). *Chemistry: The impure science*. Londres: Imperial College Press.

Bensaude-Vincent, B., y Abbri, F. (Eds.). (1995). *Lavoisier in European Context. Negotiating a New Language for Chemistry*. USA: Science History Publications.

Bensaude-Vincent, B., y Stengers, I. (1997). *Historia de la*

Química. Madrid: Addison-Wesley/Universidad Autónoma de Madrid.

Bertomeu Sánchez, J. R. (2011). Pedagogía química y circulación de la ciencia: el sistema periódico de los elementos durante el siglo XIX. En L. E. Ávila Rodríguez (Ed.), *Química: Historia, Filosofía y Educación* (pp. 25-42). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Bertomeu Sánchez, J. R. (2016). Beyond Borders in the History of Science Education. En T. Arabatzis, J. Renn, y A. Simoes (Eds.), *Recolocating the History of Science: Essays in Honor of Kostas Gavroglu* (pp. 159-173). Dordrecht: Springer.

Bertomeu Sánchez, J. R., y García Belmar, A. (2008a). La historia de la química: Pequeña guía para navegantes. Parte I: Viejas y nuevas tendencias. *Anales de Química*, 104(1), 56-63.

Bertomeu Sánchez, J. R., y García Belmar, A. (2008b). La historia de la química: Pequeña guía para navegantes. Parte II: Libros, revistas, sociedades, centros de investigación y enseñanza. *Anales de Química*, 104(2), 146-153.

Bertomeu Sánchez, J. R., y Muñoz Bello, R. (2003). La historia de la ciencia en los libros de texto: La(s) hipótesis de Avogadro. *Enseñanza de las ciencias*, 21(1), 147-159.

Bertomeu-Sánchez, J. R., y García Belmar, A. (2002). *Abriendo las cajas negras. Colección de instrumentos científicos de la Universitat de València*. Valencia: PUV.

Bertomeu-Sánchez, J. R., y García-Belmar, A. (2006). *La revolución química. Entre la historia y la memoria*. Valencia: Publicaciones de la Universitat de València.

Bertomeu Sánchez, J. R., Moreno Martínez, L., Muñoz Bello, R., y Pariente Silván, J. A. (2017). Historia y enseñanza de las ciencias. Nuevas perspectivas y oportunidades para la colaboración. *Enseñanza de las ciencias, Número Extraordinario. X Congreso*, 3779-3783.

Brock, W. H. (Ed.) (1967). *The Atomic Debates*. Leicester: Leicester University Press.

Brock, W. H. (2016). *The History of Chemistry. A very short introduction*. New York: Oxford University Press.

Brooke, J. H. (1971). Organic Synthesis and the Unification of Chemistry: A Reappraisal. *British Journal for the History of Science*, 5, 363-392.

Butterfield, H. (1931). *The Whig Interpretation of History*. Nueva York: Charles Scribner's Sons.

Cáceres, P. (2017). El cuestionario: preguntar desde lo

cualitativo. En S. Redon Pantoja y J. F. Angulo Rasco (Eds.), *Investigación cualitativa en educación* (pp. 225-234). Buenos Aires: Miño y Dávila.

Calvo Pascual, M. A., y Martín Sánchez, M. (2005). Análisis de la adaptación de los libros de texto de ESO al currículo oficial, en el campo de la química. *Enseñanza de las ciencias*, 23(1), 17-32.

Calvo Pascual, M. A., y García Murillo, A. (2015). Científicos artífices de los modelos atómicos clásicos y precuánticos. Desarrollo de la competencia lingüística aprendiendo Física y Química. En M. González Montero de Espinosa, A. Baratas Díaz, y A. Brandi Fernández (Eds.), *Jornadas sobre Investigación y Didáctica en ESO y Bachillerato* (pp. 66-77). Madrid: Santillana.

Campanario, J. M. (1998). Ventajas e inconvenientes de la historia de la ciencia como recurso en la enseñanza de las ciencias. *Revista de Enseñanza de la Física*, 11(1), 5-14.

Chamizo, J. A. (2005). La enseñanza de la historia de la ciencia con modelos recurrentes. II El modelo de Lewis-Langmuir-Sidgwick. *Enseñanza de las ciencias, Numero Extraordinario. VII Congreso*, 1-4.

Chamizo, J. A. (2011). La imagen pública de la química. *Educación Química*, 22(4), 320-331.

Chamizo, J. A. (2012). La naturaleza de la química. *Educación Química*, 23(2), 1-7.

Chamizo, J. A. (Agosto de 2017). *The Fifth and Final Chemical Revolution*. En A. Lykknes, C. Meinel, B. Van Tiggelen, e I. Suay Matallana (Presidencia). 11th International Conference on the History of Chemistry. Congreso llevado a cabo en Trondheim, Noruega.

Cid Manzano, R., y Dasilva Alonso, G. (2012). Estudiando cómo los modelos atómicos son introducidos en los libros de texto de Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(3), 329-337.

Conant, J. B. (1957). *Harvard Case Studies in Experimental Science* (Vols. 1–2). Cambridge: Harvard Univ. Press.

Cuéllar, L., Pérez, R., y Quintanilla Gatica, 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. *Enseñanza de las ciencias, Número Extra. VII Congreso*, 1-6.

Diéguez, A. J. (1995). Realismo y antirrealismo en la discusión sobre la existencia de los átomos. *Philosophica Malacitana*, 8, 49-65.

Doménech Blanco, J. L., Savall Alemany, F., y Martínez Torregrosa, J. (2013). ¿Los libros de texto de Bachillerato introducen adecuadamente los modelos atómicos de Thomson y Rutherford? *Enseñanza de las ciencias*, 31(1), 29-43.

Fara, P. (2014). Què es la ciència?: una aproximación multidisciplinar al pensament científic. *Mètode: Revista de difusió de la investigació de la Universitat de València*, 84, 36-37.

Fernández, I. Gil, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A., y Paraia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias*, 20(3), 477-488.

Fox Keller, E. (1995). Gender and Science: Origin, History and Politics. *Osiris*, 10, 27-38.

Fuente, A. de la, y Calvo Pascual, M. A. (Junio de 2017). *Relación entre la enseñanza de la química en Bachillerato y las Pruebas de Acceso a la Universidad*. En A. Lledós y M. Sodupe (Presidencia). XXXVI Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Química. Congreso llevado a cabo en Sitges, España.

Furió, C., Azcona, R., y Guisasola, J. (1999). Dificultades conceptuales y epistemológicas del profesorado en la enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y de mol. *Enseñanza de las ciencias*, 17(3), 359-376.

Gagliardi, R., y Giordan, A. (1986). La historia de las ciencias: Una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias*, 4(3), 253-258.

Galache López, M. L., y Camacho Domínguez, E. (1992). Un avance decisivo en el conocimiento de los iones: La Teoría de Arrhenius de la disociación electrolítica. *Enseñanza de las ciencias*, 10(3), 307-311.

Galache López, M. L., Camacho Domínguez, E., y Rodríguez García, A. (1991). Origen histórico del término ión. *Enseñanza de las ciencias*, 9(2), 187-192.

Gallego Badillo, R., Pérez Miranda, R., Uribe Beltrán, M. V., Cuéllar Fernández, L., y Amador Rodríguez, R. Y. (2004). El concepto de valencia: su construcción histórica y epistemológica y la importancia de su inclusión en la enseñanza. *Ciência y Educação*, 571-583.

García Belmar, A., y Bertomeu Sánchez, J. R. (1999). *Nombrar la materia. Una introducción histórica a la terminología química*. Barcelona: Ediciones del Serbal.

García Sáenz, J. J. (2003). Uso y abuso de la historia. En *La Física y la Química: Del descubrimiento a la intervención* (pp. 25-37). Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

Gavroglu, K., y Simoes, A. (2012). *Neither physics nor chemistry: A history of quantum chemistry*. Cambridge: MIT Press.

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

Golinski, J. (1992). *Science as Public Culture: Chemistry and Enlightenment in Britain, 1760-1820*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.

Gooday, G., Lynch, J. M., W., Keneth, G., y Barsky, C. K. (2008). Does Science Education Need the History of Science? *Isis*, 99, 322-330.

Hankins, T. L., y Helden, A. (1994). Instruments. *Osiris*, 9, 1-243.

Heering, P. (2009). The role of historical experiments in science teacher training: experiences and perspectives. *Actes d'història de la ciència i de la tècnica*, 2(1), 389-399.

Izquierdo Aymerich, M. (1996). Relación entre la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 8, 7-21.

Izquierdo Aymerich, M. (2010). La transformación del átomo

químico en una partícula física. ¿Se puede realizar el proceso inverso? En J. A. Chamizo (Ed.), *Historia y Filosofía de la Química. Apuntes para la enseñanza* (pp. 169-194). México: Siglo XXI.

Izquierdo Aymerich, M., García Martínez, Á., Quintanilla Gatica, M., y Adúriz Bravo, A. (Eds.). (2016). *Historia, Filosofía y Didáctica de las Ciencias: Aportes para la formación del profesorado de ciencias*. Bogotá: Universidad Distral.

Jordanova, L. (1993). Gender and the Historiography of Science. *British Journal for the History of Science*, 26, 469-483.

Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las ciencias*, 24(2), 173-184.

Klein, M. J. (1972). Use and abuse of historical teaching in Physics. En S. G. Brush y A. L. King (Eds.), *History in the Teaching of Physics*. Hanover: University Press of New England.

Kragh, H. (1987). *An Introduction to the Historiography of Science*. Cambridge: Cambridge University Press.

Lipman, T. (1964). Whöler's Preparation of Urea and the Fate of Vitalism. *Journal of Chemical Education*, 41, 452-458.

Lombardi, O. I. (1997). La pertinencia de la historia en la enseñanza de las ciencias: Argumentos y contraargumentos.

Enseñanza de las ciencias, 15(3), 343-349.

López-Ocón, L. (Ed.). (2014). *Aulas modernas: Nuevas perspectivas sobre las reformas de la enseñanza secundaria en la época de la JAE (1907-1939)*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.

López Navajas, A. (2014). Análisis de la ausencia de las mujeres en los manuales de la ESO: una genealogía de conocimiento ocultada. *Revista de Educación*, 363, 282-308.

Martín Sánchez, M., Pinto Cañón, G., y Martín Sánchez, M. T. (2017). Una aproximación a la historia de la enseñanza de la Química universitaria en España. *Anales de Química*, 113(2), 100-112.

Matthews, M. R. (1988). A role for history and philosophy in science teaching. *Educational Philosophy and Theory*, 20(2), 67-81.

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

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

Matthews, M. R. (1994b). *Science Teaching: The Role of*

History and Philosophy of Science. New York: Routledge.

Matthews, M. R. (Ed.). (2014). *International Handbook of research in History, Philosophy and Science Teaching* (Vols. 1–3). Dordrecht: Springer.

Matthews, M. R., Gauld, C. F., y Stinner, A. (2006). *The Pendulum: Scientific, Historical, Philosophical and Educational Perspectives*. Boston: Springer.

Mieli, A. (1948). *Lavoisier y la formación de la teoría química moderna*. Argentina: Austral.

Moreno González, A. (2000). La historia de la ciencia: ¿saber útil o curioso complemento? *Alambique*, 24, 99-113.

Moreno Martínez, L. (2015). Enlazando didáctica e historia de la ciencia: clasificaciones y modelos de las uniones químicas en los libros de texto de física y química de secundaria (2007-2016). *Educació Química*, 21, 45-53.

Moreno Martínez, L. (2015). La evolución histórica de la química y su utilidad didáctica. *Anales de Química*, 111(4), 230-238.

Moreno Martínez, L. (2017). La química en el aula a través de su historia: De la alquimia a las noticias científicas actuales. En M. González Montero de Espinosa, A. Baratas Díaz, y A. Brandi

Fernández (Eds.), *Jornadas sobre Investigación y Didáctica en ESO y Bachillerato. Actas del IV Congreso de Docentes de Ciencias de la Naturaleza*. (pp. 377-383). Madrid: Santillana.

Moreno Martínez, L., y Bertomeu Sánchez, J. R. (2017). Comunicando didáctica e historia de las ciencias: Modesto Bargalló y los usos pedagógicos de la historia de la ciencia (1915-1936). *Enseñanza de las ciencias*, Número Extraordinario. X Congreso Internacional, 3785-3789.

Moreno Martínez, L., y Calvo Pascual, M. A. (2017). La historia de la química en el currículo de ESO y de Bachillerato. Una revisión interdisciplinar para la investigación didáctica. *Enseñanza de las ciencias*, 35(2), 147-160.

Navarro Asencio, E., Jiménez García, E., Rappoport Redondo, S., y Thoilliez Ruando, B. (2017). *Fundamentos de la investigación y la innovación educativa*. Logroño: UNIR Ediciones.

Navarro Bottons, V. (1983). La historia de las ciencias y la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias*, 1(1), 50-53.

Niaz, M. (2014). Science Textbooks: The role of history and philosophy of science. En M. R. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (Vol. 2, pp. 1411-1441). Dordrecht: Springer.

Niaz, M. (2016). *Chemistry Education and Contributions from History and Philosophy of Science*. London y New York: Springer.

Nieto Galán, A. (2004). Prólogo. En J. J. Bonet Sugrañes, *Viaje al reino de Saturno. Un viaje de ida y vuelta a los orígenes de la química moderna* (pp. 9-10). Madrid: Nivola.

Nieto Galán, A. (2010). ¿Para qué sirve la historia de la química? Una reflexión sobre el pasado de una profesión. En J. A. Chamizo (Ed.), *Historia y Filosofía de la Química. Apuntes para la enseñanza* (pp. 15-38). México: Siglo XXI.

Nieto Galán, A. (2014). Las «historias de la ciencia» y sus adaptaciones a la enseñanza: un debate abierto. En M. Quintanilla Gatica, S. Daza Rosales, y H. G. Cabrera Castillo (Eds.), *Historia y filosofía de la ciencia. Aportes para una «nueva aula de ciencias», promotora de ciudadanía y valores* (pp. 66-75). Santiago de Chile: Bellaterra.

Nye, M. J. (1972). *Molecular Reality*. Londres: Macdonald.

Nye, M. J. (1993). *From Chemical Philosophy to Theoretical Chemistry. Dynamics of matter and dynamics of disciplines 1800-1950*. California: University of California Press.

Nye, M. J. (1996). *Before big science: The Pursuit of Modern Chemistry and Physics, 1800-1940*. Cambridge: Harvard University

Press.

Padilla Martínez, K. (2010). Evolución histórica del concepto de entropía y sus implicaciones en la enseñanza. En J. A. Chamizo (Ed.), *Historia y Filosofía de la Química. Apartes para la enseñanza*. (pp. 65-90). México: Siglo XXI.

Palmer, W. G. (1965). *A history of the concept of valence to 1930*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.

Parshall, K. H., Walton, M. T., y Moran, B. T. (Eds.). (2015). *Bridging Traditions. Alchemy, Chemistry and Paracelsian Practices in the Early Modern Era*. Missouri: Truman State University Press.

Pedrinaci, E. (Ed.). (1996). Historia y naturaleza de la ciencia. *Alambique*, 8.

Pellón González, I. (2012). *El Atomismo en Química. Un Nuevo Sistema de Filosofía Química de John Dalton*. San Vicente de Raspeig: Publicaciones de la Universidad de Alicante.

Pérez de Eulate, L. (1996). La historia de la ciencia como hilo conductor de una unidad didáctica. *Alambique*, 8, 71-79.

Quintanilla Gatica, M., Daza Rosales, S., y Cabrera Castillo, H. (Eds.). (2014). *Historia y filosofía de la ciencia. Aportes para una «nueva aula de ciencias», promotora de ciudadanía y valores*. Santiago de Chile: Bellaterra.

Ramberg, P. J. (2000). The Death of Vitalism and the Birth of Organic Chemistry: Whöler's urea Syntehsis in Texbooks of Organic Chemistry. *Ambix*, 47, 170-195.

Ramberg, P. J. (2015). That Friedrich Wöhler's synthesis of urea in 1828 destroyed vitalism and gave rise to organic chemistry. En R. L. Numbers, y K. Kampourakis (Eds.), *Newton's Apple and Other Myths about Science* (pp. 59-66). Cambridge: Harvard Univ. Press.

Read, J. (1960). *Por la alquimia a la química*. Madrid: Aguilar.

Saltiel, E., y Viennot, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes? *Enseñanza de las ciencias*, 3(2), 137-144.

Schiebinger, L. (1990). Cuando la ciencia era mujer. En J. Ordoñez, y A. Elena (Eds.), *La ciencia y su público: perspectivas históricas*. Madrid: CSIC.

Sánchez Ron, J. M. (2008). Ciencia e Historia. En J. M. Sánchez Ron (Ed.), *La Ciencia: otras miradas* (pp. 125-133). Madrid: Instituto de España.

Schiebinger, L. (2004). *¿Tiene sexo la mente? Las mujeres en los orígenes de la ciencia moderna*. Valencia: Ediciones Cátedra.

Scholarly Publishers Indicators in Humanities and Social Sciences (2014). Recuperado de <http://ilia.cchs.csic.es/SPI/index.html>.

Shaik, S., y Hiberty, P.C. (2008). *A chemist's guide to valence bond theory*. Nueva York: Wiley-Interscience.

Simon, J., García Belmar, A., y Bertomeu Sánchez, J. R. (2005). Instrumentos y prácticas de enseñanza de las ciencias físicas y químicas en la Universidad de Valencia durante el siglo XIX. *Endoxa*, 19, 59-121.

Solbes, J., Calatayud, M., Climent, J., y Navarro, J. (1987). Errores conceptuales en los modelos atómicos cuánticos. *Enseñanza de las ciencias*, 5(3), 189-195.

Solbes, J., y Traver, M. J. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. *Enseñanza de las ciencias*, 14(3), 103-112.

Sureda Negre, J., y Comas Forgas, R. (2017). La revisión bibliográfica desde una perspectiva sistemática. En S. Redon Pantoja, y J. F. Angulo Rasco (Eds.), *Investigación cualitativa en educación* (pp. 387-400). Buenos Aires: Miño y Dávila.

Talanquer, J. V. (2011). Educación química: escuchando la voz de la historia y la filosofía. En L. E. Ávila Rodríguez (Ed.),

Química: Historia, Filosofía y Educación (pp. 55-66). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Traver i Ribes, M. J. (1996). *La Història de les ciències en l'ensenyament de la física i la química*. Universitat de València, València.

Vázquez Alonso, A., y Manassero Mas, M. A. (2003). Las mujeres científicas: un grupo invisible en los libros de texto. *Investigación en la escuela*, 50, 31-46.

Watts, R. (2007). *Women in science: a social and cultural history*. New York: Routledge.

Whitaker, M. A. B. (1979). History and Quasi-History in Physics Education (I and II). *Physics Education*, 14, 108-112-242.

Legislación educativa revisada

ESPAÑA

LEY ORGÁNICA 1/1990, de 3 de octubre, de Ordenación General del Sistema Educativo. Boletín Oficial del Estado, núm. 238, de 4 de octubre de 1990, pp. 28927-28942. Recuperado de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1990-24172

LEY ORGÁNICA 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Boletín Oficial del Estado, núm. 106, de 4 de mayo de 2006, pp.

17158-17207.

Recuperado

de

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2006-7899>

LEY ORGÁNICA 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa. Boletín Oficial del Estado, núm. 295, de 10 de diciembre de 2013, pp. 97858-97921. Recuperado de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-12886

REAL DECRETO 806/2006, de 30 de junio, por el que se establece el calendario de aplicación de la nueva ordenación del sistema educativo, establecida por la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Boletín Oficial del Estado, núm. 167, de 14 de julio de 2006, pp. 26488-26494. Recuperado de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2006-12687

REAL DECRETO 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria. Boletín Oficial el Estado, núm. 5, de 5 de enero de 2007, pp. 677-773. Recuperado de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-238>

REAL DECRETO 1467/2007, de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas. Boletín Oficial del Estado, núm. 266, de 6 de noviembre

de 2007, pp. 45381-45477. Recuperado de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-19184>

COMUNIDAD DE MADRID

DECRETO 23/2007, de 10 de mayo, del Consejo de Gobierno, por el que se establece para la Comunidad de Madrid el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria. Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid, núm. 126, de 29 de mayo de 2007, pp. 48-139. Recuperado de https://www.bocm.es/bocm/Satellite?cid=1188556258222ylanguage=esypagename=Boletin%2FPage%2FBOCM_ultimoBoletin

DECRETO 67/2008, de 19 de junio, del Consejo de Gobierno, por el que se establece para la Comunidad de Madrid el currículo de Bachillerato. Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid, núm. 152, de 27 de junio de 2008, pp. 6-84. Recuperado de https://www.bocm.es/bocm/Satellite?cid=1188556258222ylanguage=esypagename=Boletin%2FPage%2FBOCM_ultimoBoletin

ORDEN 2200/2017, de 16 de junio, de la Consejería de Educación, Juventud y Deporte, por la que se aprueban materias de libre configuración autonómica en la Comunidad de Madrid. Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid, núm. 151, de 27 de junio de 2017, pp. 111-114. Recuperado de

https://www.bocm.es/boletin/CM_Orden_BOCM/2017/06/27/BOCM-20170627-15.PDF

RESOLUCIÓN de 7 de julio de 2008, de la Dirección General de Educación Secundaria y Enseñanzas Profesionales, por la que se establecen las materias optativas del Bachillerato en la Comunidad de Madrid. Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid, núm. 179, de 29 de julio de 2008, pp. 4-26. Recuperado de https://www.bocm.es/bocm/Satellite?cid=1188556258222&language=es&ypagename=Boletin%2FPage%2FBOCM_ultimoBoletin

Libros de texto analizados

Ballestero Jadraque, M., y Barrio Gómez de Agüero, J. (2008). *Física y Química 1 Bachillerato. Tesela*. Navarra: Oxford.

Barradas Solas, F., López de Guereñu, J. G., Valera Arroyo, P., y Vidal Fernández, M. C. (2008). *Física y Química 1 Bachillerato La Casa del Saber*. Madrid: Santillana.

Cardona, Á. R., García Pérez, J. A., Peña Sainz, Á., Pozas Magariños, A., y Vasco, A. J. (2008). *Física y Química 4 ESO*. Madrid: McGraw-Hill.

Fontanet Rodríguez, À. (2014). *Química Bachillerato*. Barcelona: Vicens Vives.

Fontanet Rodríguez, À., y Martínez de Murguía Larrechi, M. J. (2012a). *Física y Química 3 Educación Secundaria. Nuevo Ergio*. Barcelona: Vicens Vives.

Fontanet Rodríguez, À., y Martínez de Murguía Larrechi, M. J. (2012b). *Física y Química 4 Educación Secundaria. Nuevo Ergio*. Barcelona: Vicens Vives.

Guardia Villarroel, C., Menéndez Hurtado, A. I., y Prada P. de Azpeitia, F. de (2011). *Química 2 Bachillerato La Casa del Saber*. Madrid: Santillana.

Martínez de Murguía Larrechi, M. J., y Fontanet Rodríguez, À. (2012). *Física y Química-1 Bachillerato*. Barcelona: Vicens Vives.

Peña Sainz, Á., Pozas Magariños, A., García Pérez, J. A., Rodríguez Cardona, A., y Vasco, A. J. (2007). *Física y Química 3 ESO*. Barcelona: McGraw-Hill.

Peña Tresancos, J., y Vidal Fernández, M. C. (2009). *Química 2 Bachillerato. Tesela*. Vizcaya: Oxford.

Piñar Gallardo, I. (2011). *Física y Química 3º ESO. Adarve* (Vols. 1–4). Madrid: Oxford.

Piñar Gallardo, I. (2012). *Física y Química 4º ESO. Adarve* (Vols. 1–4). Madrid: Oxford.

Pozas Magariños, A., Martín Sánchez, R., Rodríguez Cardona, A., y Ruíz Sáenz de Miera, A. (2009). *Química 2 Bachillerato*. Madrid: McGraw-Hill.

Rodríguez Cardona, A., Pozas Magariños, A., García Pérez, J. A., Martín Sánchez, R., y Peña Sainz, Á. (2012). *Física y Química 1 Bachillerato*. Madrid: McGraw-Hill.

Vidal Fernández, M. C, Prada P. de Azpeitia, F. de, Luis García, J. L. de, Pichardo Gómez, R., y Sanz Martínez, P. (2011). *Física y Química 4 ESO Los Caminos del Saber*. Madrid: Santillana.

Vidal Fernández, M. C., Prada P. de Azpeitia, F. de, Luis García, J. L. de, y Sanz Martínez, P. (2011). *Física y Química 3 ESO Santillana Los Caminos del Saber*. Madrid: Santillana.

Zubiaurre Cortés, S., Arsuaga Ferreras, J. M., y Garzón Sánchez, B. (2012). *Química 2 Bachillerato*. Madrid: Anaya.

Zubiaurre Cortés, S., Arsuaga Ferreras, J. M., Moreno, J., y Garzón Sánchez, B. (2014). *Física y Química 1 Bachillerato*. Madrid: Anaya.

Zubiaurre Cortés, S., Morales, A. M., Arsuaga Ferreras, J. M., y Pérez, A. (2011). *Física y Química 3 Educación Secundaria* (Vols. 1–3). Madrid: Anaya.

Zubiaurre Cortés, S., Morales, A. M., Gálvez, F., y Molina, I.
(2012). *Física y Química 4 Educación Secundaria* (Vols. 1–3).
Madrid: Anaya.

Anexo

Colección de cuestiones elaboradas en el primer documento para el análisis de libros de texto

CL1. En relación al atomismo, el libro de texto:

- Hace referencia a las ideas de los filósofos griegos sobre la constitución y continuidad de la materia.
- Hace referencia al atomismo de Leúcipo y Demócrito.
- Hace referencia a la obra de Lucrecio.
- Hace referencia a los trabajos de los autores medievales (*Minima Naturalia*).
- Hace referencia a las contribuciones de filósofos como Bacon/Gassendi.
- Hace referencia a las contribuciones de filósofos naturales como Boyle/Newton.
- Hace referencia a los trabajos de Lémery interpretando algunos procesos químicos desde un punto de vista corpuscular.

- Hace referencia al tiempo necesario para que los químicos aceptasen la realidad física de los átomos
- Sitúa el atomismo científico en la figura de Dalton.
- Muestra que el atomismo quedó olvidado desde tiempos de los filósofos griegos hasta Dalton, con excepción del poema de Lucrecio.
- Muestra que el atomismo quedó olvidado desde tiempos de los filósofos griegos hasta Dalton.
- Otros:

CL2. El texto habla de otras partículas subatómicas además de electrones, protones y neutrones:

- Sí. ¿Cuál/es?
- No.

CL3. En relación al modelo atómico de Thomson, se indica que:

- Fue presentado en 1904.
- Thomson se basó en los trabajos de lord Kelvin (1901) en el que imaginaba al átomo como una esfera de carga positiva que contenía electrones.
- El átomo era entendido como una esfera cargada positivamente con electrones incrustados (estáticos).

- El átomo era entendido como una esfera cargada positivamente con electrones que podían estar en movimiento en anillos concéntricos respecto al centro de la esfera.
- El átomo estaba formado por un gran número de electrones.
- El átomo estaba formado por un número reducido de electrones.
- En un principio, el átomo estaba formado por un número elevado de electrones; pero posteriormente, se consideró que el número debía ser menor.
- La masa del átomo se debe a la esfera maciza de carga positiva.
- La masa del átomo se debe a los electrones.
- El modelo de Thomson no se refiere a ningún átomo real (Thomson no propone la estructura de ningún átomo concreto).
- Otros:

CL4. Sobre la utilidad del modelo atómico de Thomson, el texto indica que trataba de:

- Explicar algunos fenómenos radiactivos (dispersión a y b).
- Explicar cualitativamente las valencias de los elementos.

- Explicar cualitativamente la ley periódica.
- Explicar los espectros.
- Explicar el enlace.
- Explicar la estructura del sistema periódico.
- Otros:

CL5. En relación al modelo de Rutherford, se indica que:

- Fue presentado en 1911.
- Rutherford no dijo nada de la situación de los electrones en su publicación de 1911.
- El núcleo atómico tiene carga positiva y los electrones, girando, carga negativa.
- Rutherford contempló la posibilidad de que el núcleo tuviese carga negativa.
- Rutherford conocía el modelo “saturniano” de Nagaoka de 1903.
- Rutherford había asumido el modelo atómico de Thomson en 1904.
- Existen protones y neutrones en el núcleo.
- Una de sus limitaciones es el colapso electromagnético del átomo.
- Una de sus limitaciones es el colapso mecánico del átomo.

- Se trataba de un modelo completo del átomo (con núcleo y corteza).
- Rutherford necesitó más de dos años para pasar de los resultados de Geiger y Marsden a su modelo del átomo nuclear.
- Otros:

CL6. En relación al modelo de Bohr, se indica que:

- El núcleo está formado por protones y neutrones.
- Bohr se basó en los trabajos de Nicholson (1912) para su modelo atómico.
- Fue corregido por Sommerfeld, quien incorporó la posibilidad de órbitas elípticas al modelo.
- Permitía explicar el espectro del átomo de hidrógeno.
- Sólo es válido para el átomo de hidrógeno e iones hidrogenoides, con aproximaciones.
- Permite deducir la ecuación de Rydberg-Ritz.
- El carácter semicuántico del modelo es presentado como una limitación del mismo.
- Otros:

CL7. En la representación gráfica del modelo atómico de Bohr:

- Se utilizan únicamente niveles.

- Se utilizan niveles y subniveles, pero todas las órbitas son circulares.
- Se utilizan niveles y subniveles, distinguiéndose orbitas circulares y elípticas.
- No se representan los átomos de acuerdo al modelo de Bohr.

CL8. Se distingue entre el significado de los números cuánticos (n , l , m y spin) en el modelo de Bohr (o Bohr-Sommerfeld) y en el modelo (cuántico) actual:

- Sí. Especificar cuáles y los significados asociados.
- No.

CL9. Además de los modelos atómicos anteriores, el libro hace referencia a:

- Modelo de Lenard.
- Modelo de Nagaoka.
- Modelo de Lewis.
- Otros:

CL10. Los hechos experimentales que llevaron al modelo atómico actual fueron:

- Efecto fotoeléctrico.
- Efecto Compton.

- Difracción de electrones (experiencias de Davisson y Germer).
- Difracción de electrones (experiencias de G.P. Thomson).
- Radiación del cuerpo negro.
- Otros:

C11. Se habla de las limitaciones del modelo atómico actual:

- Sí. ¿Cuáles?
- No.

CL12. Se define el orbital atómico como:

- La región del espacio en torno al núcleo donde es más probable encontrar al electrón (o definiciones afines a ésta).
- La función de onda asociada al electrón y solución de la ecuación de Schrödinger (o definiciones afines a ésta).
- Otros:

CL13. En el estudio de las configuraciones electrónicas se mencionan a:

- Hund: Regla de máxima multiplicidad/otros:
- Pauli: Principio de Exclusión/ otros:
- Moeller: diagrama/ otros:
- Madelung: regla $n+l$ /otros:
- Bury: reglas de Bohr-Bury/otros:

- Bohr: principio de Aufbau/reglas de Bohr-Bury/otros:
- Otros:

CL14. La estructura electrónica de los átomos polielectrónicos se explica:

- Postulando la ordenación de orbitales atómicos, que se van ocupando.
- A partir de los espectros.
- A partir de las energías de ionización.
- Otros:

CL15. Se explican las limitaciones del diagrama de Moeller para los metales de transición:

- Sí. ¿Cuáles?
- No.

CL16. Se mencionan clasificaciones de los elementos anteriores a las triadas de Dobereiner:

- Sí. ¿Cuáles?
- No.

CL17. Se hace referencia a:

- Las triadas de Dobereiner (1817-1829).
- El caracol telúrico de Chancourtois (1862).

- Las octavas de Newlands (1864).
- La clasificación de Meyer (1869).
- La primera clasificación de Mendeleiev (1869).
- Las clasificaciones de Mendeleiev posteriores a 1869.
- La tabla periódica de Mendeleiev (sin matizar año de publicación).
- Otras clasificaciones (no incluidas en CL16):

CL18. Se explica el “conflicto” Meyer-Mendeleiev:

- Sí. ¿Cómo?
- No.

CL19. Justifica el éxito de la tabla periódica de Mendeleiev atendiendo a:

- Las predicciones de Mendeleiev dejando huecos libres.
¿Cuáles?
- La ley periódica.
- Cuestionar el valor de los pesos atómicos e incluso invertir el orden de los pesos atómicos para algunos elementos para dar prioridad a las propiedades químicas.
- Otros:

CL20. Las limitaciones de la tabla periódica de Mendeleiev que se recogen son:

- Situaciones polémicas debida a los valores de pesos atómicos.
- Concede una importancia excesiva a las valencias de los elementos.
- Otros:

CL21. Se hace referencia a la evolución de la tabla periódica con posterioridad a Mendeleiev, haciendo referencia a:

- Werner.
- Paneth.
- Seaborg.
- Otros:

CL22. Se discuten cuestiones de interés actual para la tabla periódica como:

- La posición del hidrógeno.
- Los elementos que integran el grupo 3 (¿Sc, Y, La y Ac o Sc, Y, Lu y Lr?).
- El descubrimiento y caracterización de nuevos elementos químicos.
- Otros:

CL23. Se incluyen otros sistemas periódicos diferentes a la tabla periódica:

- Sí. ¿Cuáles?
- No.

CL24. El texto:

- Utiliza tabla periódica y sistema periódico como sinónimos indistintamente.
- Se utiliza únicamente el término tabla periódica.
- Se utiliza únicamente el término sistema periódico.
- Distingue entre tabla periódica y sistema periódico.

CL25. El texto hace alusión a ley periódica:

- Sí, definiéndola como:
- Sí, explicando su importancia en química:
- No.

CL26. En relación a la formulación y nomenclatura de los elementos y compuestos químicos:

- Se hace referencia al origen de las fórmulas químicas actuales.
- Se hace referencia al origen de los símbolos químicos actuales.
- Se hace referencia a terminología alquímica.

- Se hace referencia a la nomenclatura ideada por Lavoisier, Morveau.
- Se hace referencia al papel de la IUPAC en la regulación de la terminología química a lo largo de los últimos años.
- Se utiliza la nomenclatura química inorgánica atendiendo a las recomendaciones IUPAC anteriores a 2005 (1990).
- Se utiliza la nomenclatura química inorgánica atendiendo a las recomendaciones IUPAC de 2005.
- Se utiliza la nomenclatura química orgánica atendiendo a las recomendaciones IUPAC de 1979.
- Se utiliza la nomenclatura química orgánica atendiendo a las recomendaciones IUPAC de 1993.

CL27. Lavoisier es presentado como:

- El padre de la química moderna.
- Un químico que introdujo cambios en la nomenclatura
- Un químico que introdujo cambios en la práctica química (uso de la balanza)
- El químico que acabó con la teoría del flogisto
- El químico que enunció la ley de conservación de la masa

- Otros:

CL28. Se hace referencia a los errores y dudas de Lavoisier en sus trabajos:

- Sí, haciendo alusión a su definición de ácido.
- Sí, haciendo alusión a:
- No

CL29. En relación a la ley de Proust, ¿se incluye la polémica Proust-Berthollet?

- Sí. ¿Cómo?
- No.

CL30. En relación con Avogadro y sus contribuciones a la química:

- Se indica que sus trabajos fueron rechazados y/o olvidados por la comunidad química hasta la llegada de Canizzaro.
- Se habla de una única hipótesis de Avogadro (en un gas igualdad de P y T, mismo V implica mismo número de moléculas, $IV=IP$).
- Se habla de dos hipótesis de Avogadro ($IV=IP$, moléculas diatómicas).
- No se menciona ningún aspecto biográfico o relativo a sus contribuciones.

- Se muestran otros aspectos:

CL31. En relación con los pesos atómicos:

- Se explican las dificultades que los químicos del siglo XIX tuvieron que superar para el establecimiento de los pesos atómicos.
- Se hace referencia a valores de pesos atómicos anteriores a los actuales. ¿Cuáles? Lavoisier/Dalton/Berzelius, otros:
- No se hace referencia a ninguno de los aspectos anteriores.

CL32. En relación con las teorías ácido-base se hace referencia anteriores a la teoría de Arrhenius (1884):

- Primeras ideas sobre ácidos (enrojecer el tornasol, sabor agrio...) y bases (azulean el tornasol, sabor cáustico...).
- Trabajos de Boyle (1663) sobre las propiedades de ácidos y álcalis.
- Trabajos de Faraday (1834) sobre la conductividad de disoluciones acuosas de ácidos y bases.
- Trabajos de Lavoisier (1787) sobre el principio acidificante (oxígeno).
- Trabajos de Davy (1811) en los que discrepaba del oxígeno como principio acidificante.

- Trabajos de Gay-Lussac (1814) en los que indicaba que ácidos y bases han de definirse unos en función de otros.
- Trabajos de Liebig (1830) en los que el hidrógeno se presenta como el principio acidificante tanto de ácidos inorgánicos como orgánicos.
- Otras:

CL33. En relación con la teoría de Arrhenius:

- Se hace referencia al “resto halogénico”.
- Se relaciona su teoría ácido-base con la teoría iónica.
- Se relaciona su teoría ácido-base con la ley de acción de masas de Guldberg y Waage (1864).
- Se incluye la explicación de la basicidad del amoníaco por formación del hidróxido de amonio.
- Se explican las reacciones de neutralización.
- Se indican sus limitaciones. ¿Cuáles?

CL34. En relación con la teoría de Brønsted y Lowry (1923):

- Se indica que llegaron a las mismas conclusiones de forma independiente.
- Se incluye la definición de sustancia anfótera.

- Se explican las reacciones de neutralización como reacciones de transferencia de protones.
- Se indican sus limitaciones. ¿Cuáles?

CL35. Además de las teorías anteriores, el texto incluye otras teorías ácido-base:

- Teoría de Lewis (1923).
- Teoría de Usanovich (1939).
- Teoría de Lux (1939) y Flood (1947).
- Otras:

CL36. El texto hace referencia a las contribuciones de:

- Berzelius.
- Wöhler.
- Liebig.
- Dumas.
- Gerhardt.
- Wurtz.
- Kolbe.
- Hofmann.
- Pasteur.

- Frankland.
- Kekulé.
- Berthelot.
- Wiscelenus.
- Bayer.
- Perkin.
- Van 't Hoff.
- Fischer.
- Le Bel.
- Grignard.
- Otros:

CL37. El texto:

- Hace referencia a la popularidad y prestigio de los que gozó Berzelius en su época.
- Presenta la síntesis de la urea de Whöler como el golpe definitivo al vitalismo.
- Se hace referencia a/ a los sueño/s de Kekulé.
- Incluye el desarrollo histórico de la isomería.
- Incluye aspectos históricos relacionados con la bioquímica.
¿Cuáles?

- Incluye aspectos históricos sobre la importancia de la industria química orgánica. ¿Cuáles?

CL38. El libro de texto suele incluir:

- Fechas de nacimiento y fallecimiento de los científicos.
- Obras de científicos con fecha de publicación.
- Fecha en la que se enuncian las distintas leyes, teorías...
- Aspectos biográficos relevantes de los científicos.
- Citas textuales de algunos de los científicos.
- Fragmentos de textos y obras de científicos.
- Anécdotas y curiosidades.
- Otros:

CL39. La historia de la química en el libro de texto se sitúa:

- En la introducción de las unidades didácticas.
- A lo largo del texto de la unidad didáctica como hilo conductor.
- En cuadros al margen a lo largo del texto.
- En las actividades de las unidades didácticas.
- Al final de la unidad didáctica como complemento.
- En una sección específica dedicada a la historia de la ciencia.

- Otros:

CL40. La historia de la química en ejercicios y actividades del libro:

- Se utiliza para enriquecer el enunciado.
- Incluye comentario de texto y/o cuestiones en torno a textos de valor histórico.
- No se utiliza la historia de la química en las actividades.
- Otros:

CL41. En referencia a las imágenes del texto, se incluyen:

- Imágenes (fotografías, retratos...) de científicos.
- Diagramas cronológicos (como flechas del tiempo).
- Imágenes de equipos de laboratorio u otros materiales de valor histórico.
- Imágenes de espacios de valor histórico.
- Imágenes de episodios (congresos, conferencias...) de valor histórico.
- Otros:

CL42. En referencia a las etapas anteriores de la química científica, el texto hace referencia a:

- Tecnología química primitiva.
- Alquimia.
- Iatroquímica.

- Docimasia.
- La transición de la química.

CL43. El libro hace referencia a conceptos y teorías antiguas en la evolución de la química como:

- Teoría de los cuatro elementos.
- Teoría del Tría Prima.
- Teoría del flogisto.
- Teoría del vitalismo.
- Hipótesis de Proust.
- El calórico.
- Las tablas de afinidades.
- Otros:

CL44. De forma general, el texto presenta la historia de la química con una visión:

- Netamente *whig*.
- Netamente *antiwhig*.
- Preferentemente interna.
- Preferentemente externa.
- Combinación de perspectivas anteriores. ¿Cuáles?

CL45. El libro muestra:

- La influencia de la ciencia sobre el contexto histórico y social.
- La influencia del contexto histórico, social, económico... en la ciencia.
- La ciencia como una actividad atemporal (estática).
- La ciencia como una actividad temporal (dinámica).
- La ciencia como una obra colectiva.
- La ciencia como empresa individual de “grandes genios”.

CL46. El libro contempla:

- El papel de la química en el desarrollo de armas.
- El papel de la química en la elaboración de fármacos.
- El papel de la química en la contaminación ambiental.
- El papel de la química en la producción de alimentos.
- El papel de la química en la industria.
- El papel de la química en la producción de nuevos materiales.
- Otros:

CL47. El libro hace referencia a premios Nobel del siglo XXI relacionados con la química:

- Sí. ¿Cuáles?
- No.

CL48. El libro incluye las contribuciones de Pauling a:

- La electronegatividad de los elementos.
- El enlace químico.
- El estudio de las biomoléculas (proteínas, vitaminas, ADN...).
- La cristalografía.
- El desarme nuclear.
- Otros:

CL49. El libro incluye las contribuciones de Werner a:

- La estructura de los compuestos de coordinación.
- La estructura de la tabla periódica.
- Otros:

CL50. Entre las mujeres científicas mencionadas en el texto encontramos a:

- Marie Anne Paulze.
- Marie Curie.
- Otras:

CL51. El texto menciona las contribuciones de Marie Anne Paulze:

- Ayudando a Lavoisier al diseño y realización de experimentos.
- Traduciendo los trabajos de otros científicos.

- Elaborando las ilustraciones de los trabajos publicados por Lavoisier.
- Otros:

CL52. El texto incluye referencias a personajes y episodios de la historia de la química española como:

- Blas Cabrera.
- Enrique Moles.
- Antonio Quintana.
- Antonio De Ulloa y el descubrimiento del paladio (1748).
- Los hermanos Delhuyar y el descubrimiento del volframio (1783).
- Andrés Manuel del Río y el descubrimiento del vanadio (1801).
- Otros: