Universidad de Alcalá

INTRODUCCIÓN DE LA HISTORIA DE LA CIENCIA EN LA ENSEÑANZA DE CONTENIDOS DIDÁCTICOS DE QUÍMICA EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ, PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD

Máster Universitario en Formación del Profesorado

Presentado por:
Dª GEORGIANA DRAGOMIR-MATIES

Dirigido por:
Dra. Dª MERCEDES TORRE ROLDÁN

Alcalá de Henares, a 2 de julio de 2020

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

Marcel Proust

RESUMEN

El tema central del presente Trabajo Fin de Máster es la introducción de la Historia de la Ciencia (HDC) en la enseñanza de varios contenidos didácticos de Química en distintos niveles de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO).

La memoria incluye un breve resumen sobre la relación entre la HDC y la legislación vigente, por la que se establece el currículo de ESO y Bachillerato. Asimismo, se realiza una concisa revisión sobre el tratamiento de la HDC en los libros de texto de ESO y Bachillerato, que pone de manifiesto la importancia de la HDC, y en particular, de la Historia de la Química, en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Se han seleccionado seis contenidos didácticos de ESO, que se consideran importantes para su enseñanza desde una perspectiva histórica. Cada contenido didáctico se desarrolla en distintos apartados. Se describe su historia para hacer hincapié en la relevancia que tiene la historia en la enseñanza de dichos contenidos. Asimismo, se presentan los problemas de aprendizaje de los alumnos en relación con los conceptos químicos a estudiar y el tratamiento de los contenidos didácticos en los libros de texto.

Como apuesta innovadora de este Trabajo de Investigación Fin de Máster, se describe la transposición didáctica, desde un enfoque histórico, de los contenidos didácticos seleccionados. Las actividades planteadas fomentan el aprendizaje significativo de estos, combatiendo las visiones distorsionadas que tienen los alumnos con respecto a la ciencia y aumentando su interés hacia el estudio de la Química. El proceso de enseñanza-aprendizaje propuesto se lleva a cabo desde una perspectiva constructivista, como proceso dinámico e interactivo en el que el alumno es el principal protagonista.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1. Estado de la cuestión y fundamentación teórica 1

1.2. Descripción del trabajo y objetivos 6

2. ESTUDIO 8

2.1. La Historia de la Ciencia (HDC) en el currículo de la Enseñanza Secundaria Obligatoria (ESO) y Bachillerato 8

2.2. La Historia de la Química en los libros de texto 10

2.3. Contexto 13

2.4. Contenidos didácticos desarrollados 15

2.4.1. El sistema periódico de los elementos 18

2.4.2. Lavoisier y la Ley de conservación de masa 23

2.4.3. El mol y el número de Avogadro 28

2.4.4. Enlace químico 31

2.4.5. Reacción química 36

2.4.6. Modelos atómicos 40

3. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE CAMBIO 45

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 49

5. ANEXOS 61

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ESTADO DE LA CUESTIÓN Y FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El uso de la historia en la enseñanza de las ciencias es un tema de interés actual, si bien las relaciones entre historia, enseñanza y aprendizaje de las ciencias han sido objeto de investigación a lo largo de los años. Existe en la literatura una cantidad numerosa de trabajos relevantes que exploran estas relaciones (Ávila, 2011; Izquierdo *et al.*, 2014; Matthews, 2014; Niaz, 2016; Quintanilla *et al.*, 2014). A continuación, se presentan de manera breve algunos aspectos relacionados con la Historia de la Ciencia (HDC) en la enseñanza de las ciencias, así como los objetivos planteados para el presente trabajo.

El proceso de enseñanza-aprendizaje tiene como objetivo la formación de ciudadanos críticos, que tengan la capacidad de analizar los avances tecnológicos y científicos y tomar decisiones en relación con dichos progresos. La práctica docente presente en las aulas actuales todavía se basa en la enseñanza tradicional desfasada, en la que la ciencia está percibida como un conjunto de verdades absolutas, descubiertas utilizando lo que se denomina el "método científico". Los conocimientos científicos se presentan como soluciones indiscutibles a problemas planteados, sin posibilidad de proporcionar alternativas a estas (Campanario, 1998). Se ignora el trabajo científico, que tiene el objetivo de resolver problemas a partir de hipótesis e investigación (Solbes y Traver, 1996). Asimismo, los alumnos desconocen la evolución científica de los conceptos, por lo que se otorga a la ciencia un carácter lineal y acumulativo (Solbes y Traver, 1996). En definitiva, el alumno adquiere una percepción deformada de la ciencia, basada en una evolución lineal del conocimiento científico (Campanario, 1998).

Por ello, la sociedad actual en la que vivimos requiere un cambio significativo en los métodos de la enseñanza de la ciencia. Es, precisamente, la investigación en didáctica de las ciencias la que reconoce la relevancia de la HDC en la mejora de la calidad en dicha enseñanza. Sin embargo, la HDC, y en particular, la Historia de la Química, no reciben un papel importante en el marco de la Ley Orgánica de Educación (LOE), tal y como se describe en una revisión del currículo de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y Bachillerato. Sin embargo, sí se describe la necesidad de los alumnos de conocer la manera en la que se construye el conocimiento científico, lo que implica el estudio de la evolución histórica de la ciencia. Al respecto, el currículo de la ESO contempla la posibilidad de introducir la Historia de la Química mediante algunos contenidos, objetivos y criterios de evaluación (Moreno y Calvo, 2017).

1.1.a. Ventajas e inconvenientes de incorporar la HDC en el currículo de ESO y Bachillerato

La incorporación de la perspectiva histórica en la enseñanza de la ciencia ayuda los estudiantes a adquirir un lenguaje científico adecuado y fomenta el pensamiento científico en el alumnado (Cuéllar *et al.*, 2008b). Otras ventajas de la incorporación de la HDC en el currículo de ESO y Bachillerato y, en particular, en la enseñanza de la Física y de la Química (Carvalho y Castro, 1992; Dana, 1990; Solaz-Portolés y Moreno-Cabo, 1998; Solomon *et al.*, 1992; Nielsen y Thomsen, 1990; Solbes y Traver (2001)) son:

i) La identificación de algunos errores conceptuales de los alumnos, así como la anticipación de los obstáculos que se pueden presentar en el estudio de los contenidos. De esta manera, se puede conseguir una reducción del negativismo que surge cuando el alumnado descubre que la mayoría de sus ideas previas son erróneas.

ii) Frente al aprendizaje de las ciencias como un proceso rígido de adquisición de conocimientos impuestos, la HDC posibilita la contextualización de saberes y una visión dinámica y flexible de la ciencia. Los conceptos estudiados no son hechos indiscutibles ni inamovibles, sino soluciones encontradas a problemas planteados por los científicos a lo largo de la evolución científica (Campanario, 1998).

iii) Permite corregir las visiones distorsionadas que, en general, se tiene sobre la ciencia: (1) el empirismo, basado principalmente en la verdad absoluta de la experimentación; (2) la visión aproblemática de la ciencia, caracterizada por la omisión de los problemas encontrados en la formación del conocimiento científico (Campanario, 1998); (3) la concepción acumulativa, por la que los conocimientos, adquiridos mediante el método científico, se van acumulando unos tras otros hasta llegar a la teoría correcta; (4) la visión rígida, basada en la característica algorítmica de la práctica científica; (5) la ciencia descontextualizada, basada en ignorar el contexto social, económico o político de esta; y (6) el individualismo científico, que contempla la presencia de genios aislados creadores del conocimiento científico (Moreno y Calvo, 2019).

Por el contrario, el uso de la HDC con el objetivo de generar un significado a los contenidos puede tener, también, efectos negativos en el proceso de enseñanza-aprendizaje si no se lleva a cabo a través de criterios bien fundamentados. Existe el riesgo de interpretación de los conceptos que utilizaron los científicos en su día en términos de los conocimientos actuales y generar así una visión estática del conocimiento científico (una de las

preconcepciones más habituales de los alumnos sobre las ciencias). Se debe evitar, asimismo, construir una visión sociológica y acientífica de la ciencia (Campanario, 1998).

1.1.b. El papel del docente en la enseñanza de la evolución histórica del conocimiento científico

El docente, desde luego, tiene un papel fundamental como intermediario entre el desarrollo del conocimiento científico académico y la evolución histórica de dicho conocimiento. Por ello, se considera altamente relevante la formación docente para la generación de nuevas estrategias didácticas a la hora de insertar la HDC en el proceso de enseñanza-aprendizaje (Cuéllar *et al.*, 2010). Cuellar *et al.* (2010) realizaron un estudio con un grupo de docentes en formación, analizando diversos factores de sus concepciones sobre el uso didáctico de la HDC. A modo general, los autores concluyen que existe una contradicción entre la práctica docente y las concepciones de los docentes, hecho que genera una tendencia de aplicar el modelo tradicional en la enseñanza de la ciencia. Esto se debe principalmente a dificultades relacionadas con las categorías estudiadas, como, por ejemplo, los escasos recursos para la innovación docente o las deficiencias en la propia formación de los docentes. No obstante, se le reconoce una alta relevancia al uso de la historia en la enseñanza de la ciencia, con el fin de mejorar la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje.

El arriba mencionado estudio pone de manifiesto que la formación del profesorado en la interdisciplinariedad y la enseñanza desde una perspectiva histórico-científica es fundamental para alcanzar una enseñanza constructivista de las ciencias. Desde ese punto de vista Bertomeu *et al.* (2017) indican que el estudio de las biografías del profesorado de ciencias y de los instrumentos científicos utilizados en distintos contextos, representan una oportunidad excelente para la formación crítica de los futuros docentes. Dichos estudios proporcionan un medio óptimo para la reflexión sobre los problemas actuales en la enseñanza de la ciencia, así como para el traslado al aula de debates sobre prácticas, leyes y conceptos científicos considerando su contexto social, económico e histórico.

Los docentes presentes en aulas han sido educados en un mundo donde la cultura humanista se separa drásticamente de la cultura científica. En la actualidad es necesario unir las dos culturas y potenciar tanto la figura del científico humanista como la del humanista científico. Siguiendo esta filosofía se ha desarrollado el proyecto Seminario Orotava de Historia de la Ciencia (actualmente Fundación). Dicho proyecto reúne a docentes y alumnos de varios niveles, Educación Secundaria y Universitaria, para una toma de contacto con la HDC puesta en escena desde una perspectiva multi e interdisciplinar (Hernández y Prieto, 2000). De

igual manera, el grupo de trabajos HISENCIEN (Historia y enseñanza de las ciencias) del Instituto de Historia de la Medicina y de la Ciencia "López Piñero" de Valencia se dedica a promover un espacio para el dialogo, análisis y reflexión sobre estudios históricos y sociales en la enseñanza de la ciencia. Dicho grupo de trabajo se centra principalmente en la enseñanza de la ciencia desde una perspectiva histórica durante los siglos XIX y XX, así como en los desafíos y problemas actuales de la enseñanza de la ciencia (Bertomeu *et al.*, 2017).

1.1.c. Propuestas para implementar la HDC en el aula

Tras el análisis de varias publicaciones que presentan la relación entre la HDC y la enseñanza de la ciencia, para implementar la HDC en el proceso enseñanza-aprendizaje, se recomienda mostrar: i) la historia crítica de la ciencia, que no debe presentar solo a los genios aislados y sus aportaciones al desarrollo del conocimiento científico, sino el papel de toda la comunidad científica (Izquierdo *et al.*, 2016); ii) una historia enmarcada en la situación social, política, cultural y económica en la que se produce la evolución del conocimiento científico (Bertomeu y García-Belmar, 2008); iii) una historia que vincule distintas asignaturas y aprendizajes, científicos y humanísticos (Lombardi, 1997). En resumen, a la pregunta: *¿Cómo incorporar la HDC en el aula*? la respuesta es clara: siempre en relación con la práctica e ideología docente existente. Es deseable adaptar y orientar la enseñanza de la ciencia para cambiar la imagen general de esta como una actividad inflexible, indiscutible y elitista. La actividad científica debería ser entendida por los alumnos como una construcción humana y temporal, que está directamente relacionada con el contexto histórico, social y político en el que se lleva a cabo (Cuéllar *et al.*, 2008b).

Y *¿cómo trabajar con los alumnos para que perciban la HDC de una forma adecuada?* Para conseguir una actitud positiva de los alumnos hacia la ciencia, el uso de los recursos históricos en el aula debe tener un enfoque reflexivo. Estos deben tener la libertad de analizar y reflexionar sobre el relato histórico en cuestión, lo que conlleva a un aumento del interés sobre el tema en concreto y sobre la ciencia en general (Abd-El-Khalick, 2013; Abd-El-Khalick y Lederman, 2000; McComas, 2008). Además, hay que incorporar al proceso de enseñanza-aprendizaje materiales educativos adaptados a tal fin (Solbes y Traver, 2001). Castro *et al.* (2012) destacan que en el proceso de enseñanza-aprendizaje desde una perspectiva histórica es importante que exista una insatisfacción del alumnado con sus ideas previas, de manera que se planteen dudas al respecto y, en consecuencia, generar interés en conocer nuevos conceptos. Para que los alumnos entiendan estas nuevas ideas, los docentes pueden utilizar recursos tales como metáforas, analogías, modelos históricos, etc. Finalmente, los nuevos conceptos deben

generar curiosidad y ser considerados útiles por los alumnos. Algunos autores presentan la introducción de historia en la enseñanza de las ciencias como un aprendizaje basado en "aprender a aprender". De esta manera se promueven competencias cognitivas y lingüísticas para conseguir una construcción significativa de los conceptos científicos. Se detalla un ejemplo de investigación, identificación, caracterización y selección de distinta información histórica para su uso en las clases de ciencia. Este ejemplo, relacionado con la bomba de vacío, permite a los alumnos una visualización dinámica y progresiva de la evolución del conocimiento científico (Camacho y Quintanilla, 2008).

La idea de que el aprendizaje significativo necesita un proceso de enseñanza interactivo y creador de problemas y preguntas es el fundamento para la organización y selección de materiales educativos para utilizar la historia en la enseñanza de las ciencias. Por ejemplo, se han propuesto los conceptos de calor y temperatura para su utilización en la enseñanza de la Física desde una perspectiva histórica. Los autores plantearon actividades de lectura, con el objetivo de buscar el conocimiento por parte de los alumnos, y un aprendizaje basado en problemas-proyectos, con el objetivo de secuenciar el proceso de construcción del conocimiento científico (Carvalho y Castro, 1992).

Mediante un aprendizaje basado en la investigación se pueden introducir los conceptos relevantes de la Física cuántica, teniendo en cuenta las aportaciones de la historia. Los autores advierten que el uso de una historia meramente cronológica puede tener efectos negativos no deseados. Por ello, se propone no solo una presentación cronológica de los eventos que llevaron a la construcción del conocimiento científico, pero también extraer las preguntas relevantes a los que los alumnos necesitan encontrar una solución (Solbes y Sinarcas, 2009).

El Primer Principio de la Termodinámica también ha recibido atención por parte de los trabajos en didáctica de la ciencia. Se pone de manifiesto la mejora en la enseñanza de la termodinámica y la eliminación de algunas concepciones erróneas de alumnos de Bachillerato a través del uso de la HDC (Furió-Gómez *et al.*, 2007). Por otro lado, también se proponen estrategias didácticas basadas en la evolución histórica del Primer Principio de la Termodinámica para alumnos de ESO. Entre los principales objetivos de dicha propuesta didáctica se puede destacar a modo general, el desarrollo de las competencias científicas de los alumnos, del pensamiento crítico y de la curiosidad hacia las ideas de los científicos (Álvarez y Manzano, 2018).

En cuanto a la Física cuántica, Solbes y Sinarcas (2009) ponen de manifiesto la relevancia de la Historia de la Física en la investigación didáctica. Los autores proponen emplear la historia para llevar a cabo actividades coherentes con un modelo de enseñanza-aprendizaje

como investigación de la Física cuántica, con el fin de producir un cambio procedimental, conceptual y actitudinal en los alumnos. Asimismo, destacan que el mero uso cronológico de los hechos históricos no es suficiente ni recomendable, sino que proponen la extracción de problemas significativos de los datos históricos para que los alumnos los resuelvan. Por ello, sugieren empezar el estudio de la Física cuántica con los problemas que dieron lugar a la crisis de la Física clásica: la existencia de espectros atómicos y el efecto fotoeléctrico.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO Y OBJETIVOS

Niaz (2016) describió, en su libro, dos aspectos fundamentales para la historia y la didáctica de la Química. El autor pone de manifiesto la importancia de la HDC en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Química, subrayando su tratamiento deficiente en los libros de texto. Asimismo, destaca la conexión estrecha que existe entre la historia de la Química y el currículo.

> *Si la importancia de la historia de la Química ha sido reconocida desde las primeras décadas del siglo XX, ¿por qué todavía se sigue debatiendo su inclusión en los libros de texto y en el currículo? Y lo que es más difícil de explicar, ¿Por qué nuestros actuales libros de texto de Química han desatendido la aproximación histórica?* (Niaz, 2016, p.7)

El trabajo descrito en la presente memoria tiene como punto de partida las preguntas que Niaz (2016) planteó. El análisis del tratamiento de la HDC en los libros de texto reitera una vez más que su papel en la enseñanza de la Química sigue siendo ignorado, aunque la introducción de la HDC en el proceso de enseñanza-aprendizaje cuenta con un respaldo curricular. Estos factores han sido determinantes para plantear el tema central del presente trabajo, que es la introducción de la HDC en la enseñanza de contenidos didácticos de Química para ESO.

El interés por llevar a cabo el presente trabajo tiene como fundamento las dificultades de los alumnos en el aprendizaje de la Química. Los alumnos entienden la Química como una multitud de información sin sentido debido principalmente al uso de la enseñanza tradicional que ignora la evolución histórica de los conceptos químicos. Las visiones distorsionadas que el alumnado tiene sobre las ciencias pueden ser evitadas o modificadas usando la HDC como herramienta fundamental en el proceso de enseñanza-aprendizaje. El empleo de la HDC en la enseñanza permite ilustrar la construcción y evolución del conocimiento científico, el desarrollo adecuado del pensamiento crítico y las capacidades reflexivas y argumentativas de los alumnos. También permite establecer una relación ciencia-cultura-sociedad, así como relacionar los conceptos científicos con los conocimientos de otras asignaturas. La HDC es el

instrumento que permite al profesorado otorgar una visión humana a las ciencias. Asimismo, puede representar un criterio para llevar a cabo la selección y secuenciación de los contenidos a tratar en las distintas unidades didácticas.

Por estos motivos, los objetivos de este Trabajo Fin de Máster son, por el orden en el que se van a presentar en esta Memoria:

- Establecer la conexión entre la HDC y el currículo legislativo de la ESO y Bachillerato.
- Revisar cómo ha contribuido el tratamiento de la HDC en los libros de texto de los alumnos de ESO y Bachillerato a generar las visiones distorsionadas que los alumnos tienen sobre la ciencia.
- Mostrar la importancia de la HDC en seis contenidos didácticos de Química para alumnos de la ESO, considerados relevantes para su presentación desde una perspectiva histórica con el fin de fomentar una visión constructivista de la Química.
- Proponer la transposición didáctica de los conceptos químicos elegidos mediante la introducción de la HDC en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Para la consecución de este objetivo, que es la gran apuesta de este Trabajo Fin de Máster, se plantea el empleo en el aula de metodologías innovadoras, como, por ejemplo, el aprendizaje cooperativo, basado en problemas, por descubrimiento, la clase invertida, etc.

En definitiva, esta investigación proporciona estrategias didácticas bastante novedosas para la inclusión de la HDC en varios niveles educativos de la Enseñanza Secundaria, que representa un tema de un creciente interés en la actualidad. Dichas estrategias didácticas favorecen un aprendizaje significativo y eficiente, al permitir al alumno construir su propio conocimiento científico a partir de la resolución de retos y problemas relevantes. Por otro lado, es bien conocida la necesidad de los docentes de ahorrar tiempo para poder enseñar todos los contenidos descritos en el currículo legislativo. Por ello, las actividades planteadas en este trabajo, representan un apoyo metodológico ágil y rápido para el desarrollo de la docencia en el aula, con el añadido de una gran implicación por parte del alumnado.

2. ESTUDIO

2.1. LA HISTORIA DE LA CIENCIA (HDC) EN EL CURRÍCULO DE LA ENSEÑANZA SECUNDARIA OBLIGATORIA (ESO) Y BACHILLERATO

La Ley Orgánica de Educación 2/2006, de 3 de mayo, en su sexto artículo, presenta la definición del currículo como "el conjunto de objetivos, competencias, contenidos, metodología didáctica, estándares y resultados de aprendizaje evaluables y criterios de evaluación que determinan los procesos de enseñanza-aprendizaje en cada una de las distintas enseñanzas". La asignatura de Física y Química se encuentra en el segundo y tercer curso de la ESO y como materia de opción en el cuarto curso. En Bachillerato, la materia de Física y Química se encuentra recogida, como única asignatura, en el primer curso, mientras que en segundo se divide en dos materias distintas: materias de opción del bloque de asignaturas troncales. En el primer curso de ESO se introduce también la asignatura de Ciencias de la Naturaleza, como una base inicial de la Física y la Química que pretende la alfabetización científica de los alumnos necesaria para la formación ciudadana.

Las primeras referencias a la HDC aparecen en tercero de ESO (RD 1631/2006), curso en el que se especifica que se debería evaluar si los alumnos tienen "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" (p. 38). Este criterio de evaluación se relaciona estrechamente con la HDC, en el sentido de fomentar la visión histórica del trabajo científico y su evolución en el tiempo. Otra referencia curricular a la HDC está vinculada con la compresión de los primeros modelos atómicos y la justificación de su evolución. En el RD 1631/2006, los criterios de evaluación establecen que "se trata de comprobar que el alumnado comprende los primeros modelos atómicos, por qué se establecen y posteriormente evolucionan de uno a otro" (p. 39). En el cuarto curso de ESO, en la introducción a la Química orgánica los criterios de evaluación presentan que los alumnos deberían tener conocimiento del "logro que supuso la síntesis de los primeros compuestos orgánicos frente al vitalismo en la primera mitad del siglo XIX" (p. 43).

En el RD 1467/2007, respecto al primer curso de Bachillerato, el objetivo número uno de esta etapa pone de manifiesto la importancia de la HDC en "conocer los conceptos, leyes, teorías y modelos más importantes y generales (…) con el fin de tener una visión global del desarrollo de estas ramas de la ciencia y su papel social" (p. 66). Otro objetivo determinante para la relevancia de la HDC es:

> 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. (p. 66)

La importancia de tener en cuenta el papel de la HDC viene explicitado claramente en uno de los criterios de evaluación del primer curso de Bachillerato en el RD 1467/2007. El estudio de la mecánica, concepto de Física presentado en la primera parte, tiene como objetivo mostrar "el surgimiento de la ciencia moderna y su ruptura con dogmatismos y visiones simplistas" (p. 65). Similar al cuarto curso de ESO, la Química del carbono se presenta con la intención de fomentar la compresión de la "importancia de las primeras síntesis de sustancias orgánicas, lo que supuso la superación del vitalismo" (p. 66). Se incluyen en los contenidos de Física y Química varios temas estrechamente relacionados con la HDC, como, por ejemplo: los primeros modelos atómicos (Thomson y Rutherford); el modelo de Bohr; introducción cuantitativa al modelo cuántico. Estos objetivos están directamente relacionados con lo manifestado en los criterios de evaluación. Los alumnos tienen que ser capaces de:

> Identificar que hechos llevaron a cuestionar un modelo atómico y a concebir y adoptar otro (…) 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. (p. 68)

Aunque no se explicita claramente en los contenidos el estudio de la historia evolutiva del sistema periódico en el primer curso de Bachillerato, si se incluye en los contenidos del segundo curso de Bachillerato en el RD 1467/2007: "evolución histórica de la ordenación periódica de los elementos" (p. 72). Otros contenidos relacionados con la historia en este curso son representados por: la evolución histórica del átomo de Bohr al modelo cuántico y la revisión de las interpretaciones del carácter ácido-base de una sustancia.

En resumen, la revisión del currículo presentado en los Decretos 48/2015 y 52/2015 para la Enseñanza Secundaria Obligatoria y Bachillerato de la Comunidad de Madrid evidencia pocas diferencias con respecto al currículo LOE en los RD 1631/2006 y 1467/2007. De manera general se puede afirmar que la HDC tiene una menor referencia curricular en la Comunidad de Madrid. Cabe destacar, en el caso de la Comunidad de Madrid, la incorporación de la asignatura de Filosofía e HDC en el año 2017. Tal y como viene descrito en el Orden 2200/2017, "el currículo de esta materia (…) incide especialmente en la capacidad para comprender los elementos fundamentales de la investigación y el método científico, y para

analizar y valorar críticamente los contenidos fundamentales de la Historia de la Ciencia" (p. 38).

La revisión de la importancia de la HDC en el currículo LOE de ESO y Bachillerato (2006-2017) permite afirmar que el aprendizaje de la historia de las ciencias está limitado a un número concreto de contenidos, como por ejemplo los modelos atómicos, la clasificación de los elementos químicos, las leyes de combinaciones químicas, las teorías acido-base y la Química orgánica. La utilización de la HDC en el proceso de enseñanza-aprendizaje tiene como base los objetivos, contenidos, criterios de evaluación y competencias descritas en el currículo legislativo. En este momento es necesario destacar que en el presente Trabajo Fin de Máster el estudio se centrará en la Historia de la Química en ESO.

2.2. LA HISTORIA DE LA QUÍMICA EN LOS LIBROS DE TEXTO

Los libros de texto son referentes fundamentales en el proceso de enseñanza-aprendizaje. La Historia de la Química presentada en los libros de texto tiene que estar conforme con los trabajos de investigación de los historiadores de la ciencia. Además, debe ajustarse al marco validado por la didáctica de las ciencias, acorde con las necesidades del profesorado (Quintanilla *et al.*, 2014).

La percepción general de numerosos investigadores sobre la presentación de la HDC en los libros de textos es que existe una desconexión relevante entre los libros de textos y los estudios históricos, que no se ajusta a las perspectivas y a los resultados de investigación presentados por los historiadores (Moreno y Calvo, 2018).

En general, los libros de texto excluyen la Historia y la Filosofía de la Ciencia. Se utiliza mayoritariamente "*la retórica de conclusiones*", ignorando la evolución histórica de los conceptos y las investigaciones que fomentaron el desarrollo científico (Niaz, 2005), así como los principios heurísticos para una mejor compresión de los contenidos conceptuales (Rodríguez y Niaz, 2002). Tal y como describen Schwab y Brandwein (1962), la "retórica de conclusiones" se utiliza para enseñar la ciencia "en la cual las construcciones actuales y temporales de conocimientos son conducidos como verdades empíricas, literales e irrevocables" (p. 24). Todo esto pone de manifiesto que la enseñanza de la Química se centra en el aprendizaje memorístico de los contenidos didácticos ignorando la evolución del conocimiento científico y los factores que contribuyeron a su construcción (Niaz, 2005). Los discursos empleados en los libros de texto no utilizan argumentaciones lógicas, no presentan

las interpretaciones y el recorrido de la construcción del conocimiento científico, sino que simplifican los contenidos conceptuales basando la argumentación en alguna autoridad científica absoluta (García y Machado, 2018).

Moreno y Calvo (2019) han realizado un estudio sobre la presentación de la historia de la Química en una muestra de libros de texto de ESO y Bachillerato de cinco editoriales, utilizados en el periodo 2007-2016 en centros educativos. Dicho estudio ha revelado, por una parte, que Lavoisier sigue teniendo la imagen de padre fundador de la Química en los libros de texto. Además, se proporciona la visión individualista de la ciencia. Se elude la rivalidad y coexistencia de distintos modelos científicos a favor de una presentación lineal de los mismos. A modo de ejemplo, la síntesis de la urea de Wöhler está presentada como un "descubrimiento ocasional", sin describir los intereses en la construcción del experimento o el debate de los protagonistas, lo que genera una visión descontextualizada de la ciencia.

La promoción en los libros de texto de una visión de la práctica química como una simple aplicación del método científico es especialmente preocupante. Los historiadores de ciencia han cuestionado en varios estudios la existencia de un método científico universal. Considerando la cantidad enorme de experimentos prácticos que se puede llevar a cabo y la complejidad de las investigaciones científicas, es altamente debatible la existencia de un único método científico (Moreno y Calvo, 2018).

La visión lineal e individualista de la Química está inducida por la presentación de las prácticas y conocimientos científicos derivados de la alquimia, pero que tienen un papel útil en la Química moderna. Los libros de texto presentan la teoría atómica de Dalton como la primera explicación de los fenómenos de la naturaleza, tras el nacimiento en la Grecia clásica del atomismo. Esto demuestra que los libros de texto utilizados en la actualidad no presentan la HDC en correspondencia con los estudios históricos y obvian el carácter cambiante de los conceptos científicos a lo largo de la historia. Tras analizar los resultados del estudio, los autores han concluido que la HDC que se transmite a través de los libros de texto es inadecuada del punto de vista histórico y didáctico. La manera de presentar la historia de la Química se relaciona significativamente con las ideas erróneas del alumnado, de que la ciencia está representada por una enumeración lineal de conceptos rígidos, inalterables, cuya construcción se llevó a cabo de manera individual a través de experimentos decisivos (Moreno y Calvo, 2019).

De manera análoga al estudio anterior, una revisión de los trabajos de investigación publicados entre los años 1988 y 2009, sobre la epistemología y la HDC en libros de texto de distinto nivel y proveniencia, destaca que, en general, se fomenta una visión distorsionada de

la ciencia debido fundamentalmente a la falta de información histórica y filosófica. Los principales fallos que detecta este estudio están relacionados con una explicación inadecuada de la leyes, teorías y modelos científicos. No se muestra la base teórica de los modelos, ni se destaca el dinamismo de los procesos que llevaron a la formación estos. También se elimina el contexto social en el que se construyó el conocimiento científico y las relaciones de interdependencia entre la ciencia y otras disciplinas. Asimismo, se acentúa el carácter algorítmico de los métodos científicos (Solaz-Portolés, 2010).

Aunque en la LOE se establece la importancia de promover la igualdad de género, los libros de texto no estudian significativamente la relación ciencia-genero. No se evidencia la participación de las mujeres ni el papel fundamental de la creatividad en la evolución del conocimiento científico (Moreno y Calvo, 2019; Solaz-Portolés, 2010).

En general, los trabajos de investigación relacionados con el estudio de los libros de texto indican que estos están enfocados al producto y no al proceso de construcción de la actividad científica. Los contenidos se presentan de manera desactualizada, con inexactitudes y errores conceptuales (Caamaño, 2006; Occelli, 2013). La ciencia está representada como una acumulación de conocimientos, sin presentar los conflictos que llevaron a los cambios evolutivos de la ciencia, sin el contexto histórico-social y el carácter dinámico de generación de conocimientos (Caamaño, 2006; Occelli, 2013). Además, debido a la eliminación del marco teórico y social no se adquiere la compresión de la implicación de todos los miembros de una comunidad científica en el desarrollo de la ciencia (Occelli, 2013).

La Química es una disciplina en evolución continua y por ello ha provocado un cambio curricular en la ESO a lo largo de los años. Sin embargo, en la actualidad sigue siendo necesario aportar más cambios para: generar una Química contextualizada que favorezca el interés en los alumnos para su estudio; poner de manifiesto los procesos de consecución del conocimiento científico, así como la naturaleza humana y social de la Química; y promover los trabajos en grupo, la participación activa de los alumnos y el desarrollo de las destrezas comunicativas (Caamaño, 2006).

Varios autores han presentado propuestas para la incorporación con éxito de la Historia de la Química en los libros de textos, en relación con diferentes contenidos curriculares que pueden resultar de difícil comprensión para los alumnos: la introducción de leyes fundamentales de la Química como el principio de Le Chatelier (Quílez y Sanjosé, 1996); la hipótesis de Avogadro (Muñoz y Bertomeu-Sánchez, 2003); y el tratamiento de los modelos atómicos (Cid y Dasilva, 2012). Otros ejemplos están relacionados con el estudio de la

evolución histórica de conceptos químicos como el concepto de ion (Galache *et al.*, 1991), mol y cantidad de sustancia (Furió *et al.*, 1999) y el concepto de valencia (Gallego *et al.*, 2004).

En conclusión, si bien en los últimos años el trabajo experimental y los contenidos procedimentales han empezado a adquirir más importancia en el proceso de enseñanza-aprendizaje, la enseñanza de la Química sigue presentando problemas importantes en el siglo XXI (Caamaño, 2001): la motivación y el interés del alumnado; la secuenciación adecuada de los contenidos didácticos; la conexión de la Química con la vida cotidiana; superar los problemas de aprendizaje de los alumnos; incluir los recursos tecnológicos disponibles; humanizar la enseñanza de la Química; proporcionar el contexto social, económico e histórico adecuado.

El trabajo de la presente memoria representa una propuesta para introducir la historia de la Química en el proceso de enseñanza-aprendizaje de alumnos de la ESO.

2.3. CONTEXTO

En este apartado se describe el contexto seleccionado para llevar a cabo el trabajo de la presente memoria. El centro educativo elegido es el colegio “Santa María de la Providencia”, donde he llevado a cabo las prácticas requeridas para cumplimentar el Máster Universitario. El colegio está situado en Alcalá de Henares, en plena zona de fuerte crecimiento de la ciudad. En cuanto a la realidad social de los alumnos y sus familias, cerca de un 90% de los alumnos proceden de un nivel socio económico medio o medio-alto. Un porcentaje que se sitúa entre un 5-8% tiene ingresos bajos o muy bajos. Muchos de estos alumnos reciben becas y ayudas del colegio. Estos datos tienen relevancia en la planificación de la metodología y actividades a realizar, para identificar los recursos educativos disponibles.

La situación familiar de los alumnos es importante a la hora de diseñar las actividades. Existe una tendencia bastante grande de falta de interés y motivación hacía el tema escolar para los alumnos pertenecientes a un entorno familiar problemático. Por ello, se pretende realizar actividades para aumentar el interés hacia la asignatura de Física y Química y la motivación hacia participar activamente en el proceso de enseñanza-aprendizaje. En el centro educativo elegido, se puede observar que a medida que se asciende en las etapas educativas, hay más alumnos que viven en una estructura familiar monoparental.

El centro educativo está compuesto por 30 unidades entre las cuales se encuentran 12 unidades de ESO. El entorno educativo promovido es altamente interactivo, donde el espacio

de aprendizaje pasa más allá de las cuatro paredes del aula y llega a los pasillos de todos los edificios, las escaleras y hasta los techos están llenos de contenidos didácticos. Todos los alumnos pueden contribuir a estos espacios educativos de temas diversos. Por ello, se podría utilizar este tipo de actividad para llevar a cabo proyectos en conjunto con varias clases del mismo nivel educativo. Asimismo, el colegio cuenta con un laboratorio de ciencias, con una dotación suficiente de material de laboratorio, que permite la realización de prácticas de laboratorio.

Una característica de la enseñanza constructivista que es aplicada con éxito en el colegio es la organización del aula en grupos cooperativos. Los alumnos están divididos en pequeños grupos de 3, 4 o 5 personas. Estos grupos son heterogéneos, por lo que los integrantes de cada uno aportan cualidades personales, sociales y académicas diferentes del resto. El aprendizaje cooperativo potencia el debate, el diálogo y la resolución de conflictos. Los alumnos se sienten identificados con su grupo y persiguen que todos sus componentes alcancen su mejor rendimiento. Dentro del grupo los alumnos colaboran entre sí y ayudan a sus compañeros a entender ciertos contenidos; así, tanto los alumnos que presentan posibles dudas como aquellos que las resuelven y explican, se ven enriquecidos ya que afianzan y reestructuran conocimientos. Por lo tanto, los alumnos desarrollan y mejoran sus habilidades lingüísticas y sociales para lograr un acuerdo en el grupo y conseguir lo mejor para todos sus integrantes. Con el aprendizaje cooperativo los alumnos bajan su nivel de ansiedad en el aula y vencen la timidez ya que mantienen un trato entre iguales, afianzan y reestructuran conocimientos previos, aprenden a relacionarse con otros compañeros, respetar sus opiniones y aceptar críticas. Al mismo tiempo, permite detectar si algún alumno presenta algún tipo de dificultad ante determinados contenidos y así ofrecerle una atención más personalizada. Los alumnos están muy motivados, tanto los que van bien y tienen el rol de “mini profe”, como aquellos a los que les cuesta un poco más y se ven estimulados por el trabajo de sus compañeros. El trabajo en grupo es muy estimulante para ellos y se toman muy en serio sus papeles. Cumplen con exquisita responsabilidad sus funciones y se muestran muy dispuestos al trabajo.

En el momento actual, en muchas instituciones se intenta enseñar conceptos del siglo pasado a alumnos de este siglo, utilizando recursos no adecuados. Todos somos conscientes de que las demandas profesionales a las que se van a enfrentar los alumnos difieren mucho de las actuales. Para ello el colegio “Santa María de la Providencia” ha adaptado el proceso de enseñanza-aprendizaje a las nuevas necesidades de los alumnos, a través de la incorporación en las aulas de herramientas digitales de actualidad imprescindibles para el correcto desarrollo de sus alumnos. Los alumnos disponen de pizarras digitales, mesas interactivas, carros con

iPad. En la etapa de ESO todos los alumnos cuentan con un sistema "one to one" de Chromebook.

La demanda intelectual de los contenidos y las actividades a llevar a cabo es adecuada para la edad del alumnado, que se sitúa en 2º a 4º de ESO, además de corresponder a un nivel cognitivo concreto intermedio para 2º y 3º de ESO y formal para 4º ESO, conforme la taxonomía de Shayer y Adey. La secuenciación de los contenidos se hizo conforme a un nivel cognitivo concreto y formal intermedio que es alcanzable para los alumnos, pero que además supone un reto que impulsa el desarrollo evolutivo. Sin embargo, la propuesta no se llevará a cabo de forma rígida, sino que se puede modificar y adaptar a las necesidades de los alumnos presentes en aula.

La práctica docente de los profesores presentes en el centro educativo se basa en el uso de técnicas y estrategias de enseñanza generales como promover la participación activa de los alumnos, dar sentido y valor a la realidad. Tratan de que los alumnos sean capaces de enfrentarse a desafíos y conectar nuevos conocimientos con sus experiencias previas. Las estrategias empleadas se basan en el uso de metodologías activas, que representan un proceso interactivo basado en la comunicación profesor-estudiante, estudiante-estudiante y estudiante-medio. En definitiva, están en línea con el aprendizaje significativo de Ausubel, en el que el alumno es el protagonista de su aprendizaje, el cual está dirigido por el profesor y contextualizado en situaciones reales del mundo actual. Todo esto favorece el aprendizaje y aumenta el interés y la motivación del alumnado. Se intenta promover en los alumnos capacidades generales como la competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico, en el tratamiento de la información y competencia digital, así como la competencia para aprender a aprender, la autonomía e iniciativa personal. Además, fomentan competencias específicas de las ciencias, como conocer, analizar e interpretar la aportación y la importancia de la ciencia en el desarrollo tecnológico actual, fomentar la reflexión e investigación, la expresión de ideas, las capacidades argumentativas y de análisis crítico, comprender y expresar mensajes con fuentes científicas utilizando un lenguaje oral y escrito adecuado. Por ello, el empleo de la Historia de Ciencia en la enseñanza de la Física y Química encaja perfectamente en la actividad docente que se lleva a cabo en el colegio.

2.4. CONTENIDOS DIDÁCTICOS DESARROLLADOS

La Química es una asignatura difícil de aprender, hecho que ha sido estudiado por numerosos trabajos de investigación en los últimos años (De Jong y Taber, 2007; Gabel y

Bunce, 1994a; Taber, 2002). El currículo requiere a los alumnos comprender y aplicar, de manera efectiva, el pensamiento científico desarrollado, analizado y debatido a lo largo de muchas décadas. El conocimiento científico incluye ideas y conceptos sobre la materia que generalmente están en contra de los conocimientos previos de los alumnos sobre el comportamiento de la naturaleza, como, por ejemplo: la idea general de que el aire no pesa; identificar los cambios de estado y las disoluciones como reacciones químicas (Méndez, 2013); atribuir el mismo significado para masa y peso; la falta de la presión atmosférica porque no es perceptible (Furió y Furió, 2000). Por ello, se aumenta la dificultad para el aprendizaje de los conceptos y formas de pensar en Química (Bertomeu-Sánchez *et al.*, 2011).

Por ejemplo, en Química existe una multiplicidad de modelos que se pueden usar para hacer predicciones y generar explicaciones. Un mismo sistema se puede representar utilizando varios modelos, dependiendo de la escala a analizar (micro o macroscópica) o de la estructura y comportamiento a estudiar. Los problemas de aprendizaje de los alumnos están relacionados con la imposibilidad de distinguir entre los modelos y entender su ámbito de aplicación. La mayoría de los alumnos generalizan la aplicación de un modelo en concreto o utilizan modelos mixtos formados por elementos contradictorios pertenecientes a dos o más modelos (Justi y Gilbert, 2002). Para superar estos problemas de aprendizaje se puede utilizar la enseñanza desde su perspectiva histórica. La historia de los múltiples modelos aplicados en Química puede ayudar a los alumnos a alcanzar una mejor compresión de su uso, aplicación y limitaciones de los mismos (Erduran, 2001). El análisis histórico-filosófico de los contenidos más importantes de Química beneficia el proceso de enseñanza-aprendizaje y facilita la tarea docente. A través del uso de la perspectiva histórica se pretende proporcionar a los alumnos la oportunidad de entender la importancia de conocer las respuestas a preguntas como "*¿Qué es esto?*" (análisis), "*¿Cómo lo hago?*" (síntesis), "*¿Cómo lo cambio?*" (transformación), "*¿Cómo lo modelo?*" (modelos) (Talanquer y Pollard, 2010).

Los contenidos didácticos que se desarrollan en la presente memoria para la enseñanza de la Química desde su perspectiva histórica están incluidos en el currículo de ESO del RD 1105/2014 y están descritos en la parte correspondiente a Química (p. 90-99). Dichos contenidos se presentan conforme el nivel académico en el que se incluyen y son los siguientes:

- 2º ESO: el sistema periódico de los elementos.
- 3º ESO: la Ley de conservación de masa y Lavoisier; el mol y el número de Avogadro; el enlace químico; la reacción química.
- 4º ESO: los modelos atómicos.

Cada uno de estos contenidos didácticos son fundamentales para el desarrollo de una visión correcta de la ciencia, y en particular de la Química por los alumnos. El aprendizaje significativo de dichos conceptos requiere la compresión de su evolución histórica: las aportaciones de distintos científicos pertenecientes a un determinado contexto histórico.

Los contenidos didácticos enumerados previamente serán desarrollados a continuación, tratando para cada uno de ellos, los siguientes apartados (véase Figura 1): descripción y problemas de aprendizaje; presentación en los libros de texto; historia del concepto y propuesta de transposición. Los contenidos adicionales que ayudarán a desarrollar esta propuesta están descritos, en detalle, en los Anexos 1-6.

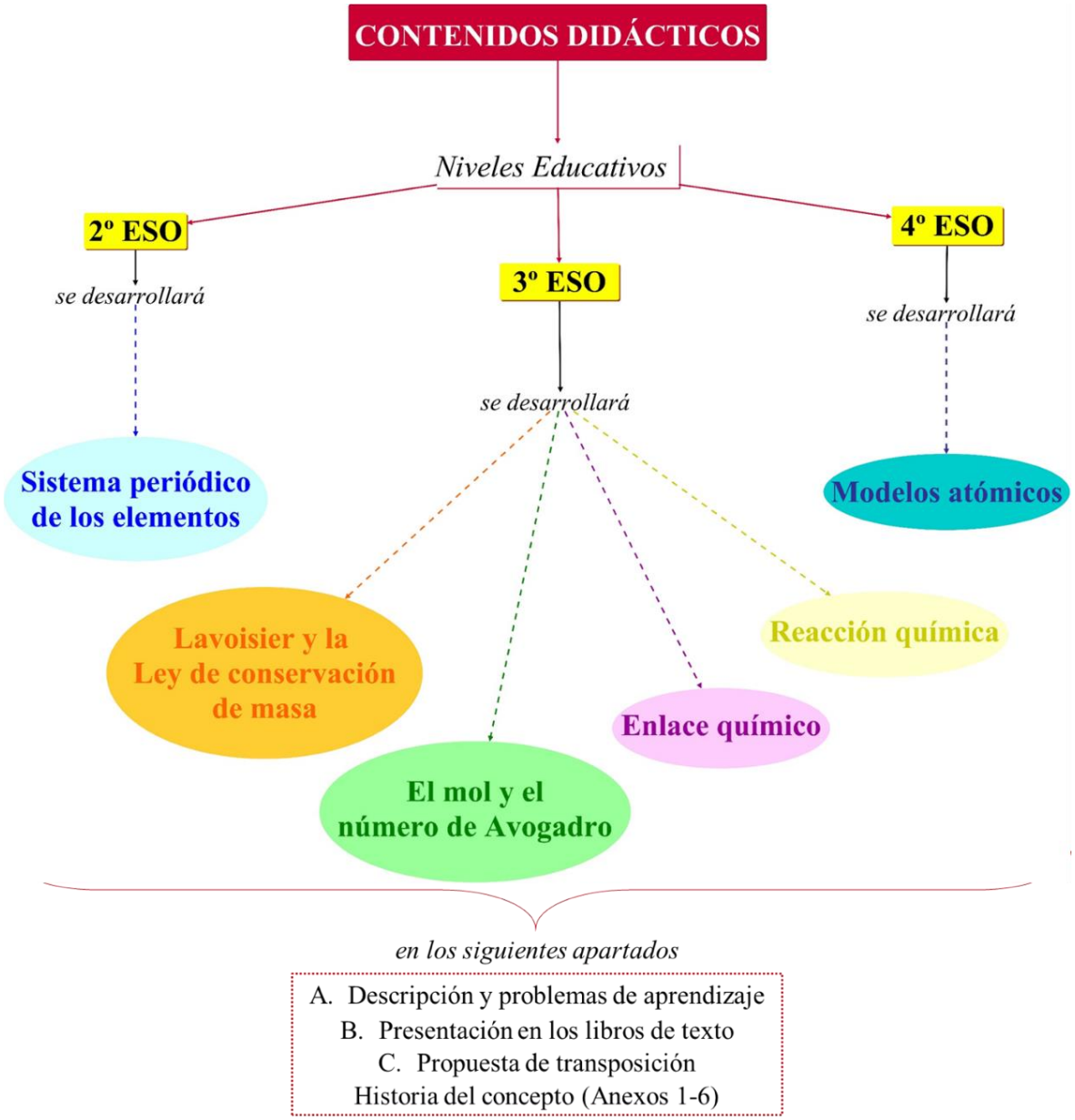


Figura 1. Mapa conceptual de los contenidos didácticos desarrollados en la presente memoria.

2.4.1. El sistema periódico de los elementos

A. Descripción y problemas de aprendizaje

El sistema periódico de los elementos, junto con la clasificación periódica de los elementos químicos, son actualmente considerados partes claves en la historia de la Química. Representan uno de los temas fundamentales en la enseñanza de la ciencia, siendo, asimismo, herramientas fundamentales en el aprendizaje significativo de la Química. Los alumnos poseen una gran variedad de carencias relacionadas con el sistema periódico de los elementos, que tienen como fuente diversas dificultades de aprendizaje. Dichas carencias están relacionadas con aspectos básicos del sistema periódico (Franco-Mariscal y Oliva-Martinez, 2013), como, por ejemplo: su estructura; la utilidad y las limitaciones del sistema periódico; la relación de los elementos químicos con la vida cotidiana; los criterios empleados para su organización; la incapacidad de diferenciar correctamente entre elemento y compuesto químico (Briggs y Holding, 1986), etc. Linares (2004) describió que el concepto de elemento químico es un concepto ambiguo, principalmente debido a la manera en la que se utiliza en la literatura científica. Esta ambigüedad se traslada también a los docentes, creando confusión en su empleo, y posteriormente a los alumnos mediante el currículo oculto. Se han llevado a cabo, asimismo, estudios para entender los problemas de aprendizaje de los alumnos entorno a los conceptos de isótopo y alótropo. Algunos autores revelan que los alumnos distinguen perfectamente entre átomo estándar y átomo de isótopo, pero confunden el fenómeno de alotropía, del grafito y el diamante, con la isotropía (Schmidt *et al.*, 2003).

Lehman *et al.* (1984) estudiaron los problemas de los alumnos en el aprendizaje significativo de la Química, que surgieron a partir de la búsqueda de información en distintas variaciones del sistema periódico. Los alumnos tenían que encontrar información en el sistema periódico para resolver ejercicios de naturaleza cualitativa. Aquellos poco experimentados en el uso del sistema periódico consideraron que este tenía una gran utilidad didáctica. Los alumnos con una baja compresión verbal consideraron más útil un sistema periódico más simple, mientras que los alumnos con una alta compresión verbal prefirieron un sistema periódico más rico en información.

La función que los profesores asignan al sistema periódico en el proceso de enseñanza-aprendizaje también influye en el aprendizaje significativo de los alumnos. Linares (2004, 2005) destaca que las principales funciones asignadas al sistema periódico por el profesorado son: didácticas, el sistema periódico es una herramienta para facilitar la enseñanza de la Química; organizativas, el sistema periódico se utiliza para predecir, ordenar y confirmar

propiedades periódicas; y macro, el carácter predictivo y organizador del sistema periódico se emplea para explicar comportamientos de sustancias. Algunos autores también han concluido que algunos de los problemas de aprendizaje significativo del sistema periódico dependen de la organización de los contenidos didácticos en el currículo (Agudelo *et al.*, 2009).

El estudio del sistema periódico puede resultar más o menos atractivo para los alumnos dependiendo de cómo se perciba. Conociendo su alta relevancia para la Química, muchos alumnos están motivados a estudiar su información. Sin embargo, la gran cantidad de información presente en el sistema periódico puede provocar una pérdida de motivación, debido a la necesidad de memorizar los elementos químicos y sus símbolos. Dicha memorización muchas veces no corresponde a un aprendizaje significativo de los conceptos, concretándose en una percepción de significado vacío del sistema periódico. La falta de significatividad tiene origen también en la relación del sistema periódico con conceptos científicos abstractos (Franco-Mariscal y Oliva-Martinez, 2013).

B. Presentación en los libros de texto

La presentación del sistema periódico en los libros de texto debería ser consistente con el currículo legislativo y con el papel global que tiene en la enseñanza de la Química. Aunque existe una opinión común de que el sistema periódico es uno de los elementos claves en el aprendizaje de la Química, esa unanimidad no se encuentra en la manera de su presentación en los libros de texto (Linares, 2004).

El aprendizaje del sistema periódico es un ejemplo relevante para establecer la importancia de la HDC en la enseñanza de la Química. Los alumnos seguramente tienen preguntas relacionadas con su origen y evolución hasta la versión actual. Sin embargo, los libros de texto presentan el sistema periódico como producto de un razonamiento inductivo. Menedeleiev construyo el sistema periódico sin el uso de una base teórica y el resultado final se alcanzó al azar (Niaz, 2005).

Hubisz (2001) pone de manifiesto los problemas relacionados con la resolución de problemas detectados en libros de texto de secundaria. Menciona que las actividades de lápiz y papel fomentan el desarrollo de la visión distorsionada de la ciencia e ignoran el nivel cognitivo de los alumnos. En el caso del sistema periódico se deberían plantear actividades de caracterización de sustancias en función de las propiedades macroscópicas, como el color, textura, punto de ebullición. Sin embargo, los autores plantean las actividades en relación con la configuración electrónica de los elementos. En consecuencia, los alumnos memorizan los conceptos didácticos sin comprender su significado o su utilidad.

C. Propuesta de transposición

El sistema periódico de los elementos se puede abordar en cualquiera de los niveles educativos de ESO, no obstante, las actividades descritas a continuación se plantean para alumnos de 2º ESO. Debemos tener en cuenta que el alumnado se sitúa todavía en una transición desde el pensamiento concreto al pensamiento formal o abstracto. Por ello, habría que adaptar las actividades teniendo en cuenta su nivel cognitivo y la diversidad en cuanto a edad, motivación o interés. De esta manera, estas actividades pueden ser realizadas en cualquier nivel de la ESO siempre y cuando se ajustan a las capacidades del alumnado presente en aula.

El tratamiento empleado en la enseñanza de la Química del sistema periódico está directamente relacionado con el interés y la motivación de los alumnos en este tema. Ya se ha comentado que la enseñanza del sistema periódico implica el uso excesivo de la memorización de conceptos abstractos y lo clasifica como simple herramienta instrumental para la nomenclatura química. Por ello, el proceso de enseñanza-aprendizaje de este cúmulo de conceptos se debe llevar a cabo mediante tareas planteadas como reto, resolviendo situaciones problemáticas, realizando investigaciones para generar un aumento de interés de los alumnos (Franco-Mariscal y Oliva-Martinez, 2013). Niaz (2005) destaca que para conseguir una mayor compresión de los conceptos relacionados con el sistema periódico es necesario considerar los siguientes aspectos: la importancia de la posición de los elementos químicos en el sistema periódico, la importancia de la posición y la predicción durante su desarrollo evolutivo, el uso del marco teórico previo a Mendeleiev para la corrección de los pesos atómicos, el debate sobre la contribución de Mendeleiev, el desarrollo de la evolución histórica del sistema periódico mediante las progresivas participaciones de los científicos.

La transposición didáctica se basa en un modelo de enseñanza mediante investigación dirigida, en la que los alumnos se sitúan en el contexto de un científico, mientras que el docente es el que dirige las actividades para asegurar un cambio conceptual y actitudinal (Escobar y Benavides, 2015). De acuerdo con esto, se plantean dos actividades para llevar a cabo la transposición didáctica, con los siguientes objetivos: aumentar la compresión por parte de los alumnos de los conceptos relacionados con el sistema periódico, modificar la visión distorsionada que puedan tener sobre la ciencia, presentar los conceptos científicos utilizados en la actualidad como el resultado de un proceso de evolución al que aportaron numerosos científicos.

La estrategia didáctica a emplear ha sido adaptada del trabajo de Campanario y Moya (1999) y consta de los siguientes pasos: planteamiento de la situación problemática que genera

interés, análisis en grupo de la situación para identificar el problema, planteamiento de la hipótesis, realización de actividades de resolución, comparación de los resultados, profundizar el tema al tratar la relación con la evolución histórica del conocimiento científico en el contexto socio-histórico correspondiente.

Actividad 1- La primera actividad que se plantea tiene un papel introductorio de la HDC en la enseñanza del sistema periódico. Los alumnos serán los que tienen que buscar la información, identificar los aspectos más relevantes y presentar el trabajo a sus compañeros. Seguramente, todos los alumnos tendrán algún conocimiento previo sobre el sistema periódico y habrán visto algún ejemplo. El objetivo de la presente actividad es la compresión adecuada del concepto de elemento químico y la importancia que tiene en la estructura del sistema periódico.

Aprovechando el acceso individual a un Chromebook y a internet, se empezará con la búsqueda de distintas definiciones del concepto de elemento químico a lo largo del tiempo. Se compararán para investigar la evolución histórica de dicho concepto. Los alumnos deberán contestar a las siguientes preguntas: *¿Cuál fue el momento en el que se empezó a hablar de elemento químico*?, *¿Cuáles son las definiciones más relevantes de elemento químico a lo largo de la historia*?, *¿Qué científicos tuvieron contribución en el desarrollo del concepto de elemento químico*? Posteriormente, se llevará a cabo una puesta en común de los resultados y un debate. Esto tiene el objetivo de fomentar la idea de que la definición de los conceptos científicos conocidos en la actualidad ha ido evolucionando con la historia y mediante la aportación de toda la comunidad científica. A continuación, el profesor les proporcionará a los alumnos una lista de elementos químicos que considera más importantes. Trabajando en grupo los alumnos deberán rellenar la Tabla 1 descrita a continuación.

Tabla 1. Elementos químicos y sus características

Elemento	
Origen del nombre	
Símbolo	
Z	
A	
Valencias	
Descubrimiento	
Aplicaciones	

A continuación, se llevará a cabo una puesta en común de los datos para organizar los elementos químicos según el momento de su descubrimiento, así como según su nombre y símbolo químico en las siguientes categorías (Vázquez y Pérez, 2009):

1. Descubrimiento de los elementos químicos: conocidos en la Antigüedad, descubiertos entre los siglos I – XVIII, descubiertos en el siglo XIX y descubiertos en el singlo XX.
2. Nombres y símbolos de los elementos químicos: procedentes del nombre en latín, con referencia a ciudades o países, para conmemorar a científicos, debido al mineral o la ubicación de su descubrimiento, con referencia a objetos celestes o de la mitología y símbolos que no coinciden con la inicial en español.

Asimismo, después de realizar la actividad se les entregará a los alumnos el Anexo 7. Se discutirá la evolución del sistema periódico, en cuanto al descubrimiento de los elementos químicos y las técnicas utilizadas. El docente tendrá el papel de contextualizar las técnicas empleadas para que los alumnos comprendan que el descubrimiento de los elementos químicos fue un proceso progresivo en el que se emplearon diversas técnicas y los conocimientos de toda la comunidad científica. La actividad sobre el descubrimiento y la nomenclatura de los elementos químicos tienen como objetivo fomentar en los alumnos la visión evolutiva de la ciencia, así como la primera toma de contacto con los conceptos químicos relacionados con el sistema periódico, como número atómico (Z), número másico (A) y valencia.

Actividad 2- Para empezar la segunda actividad se repartirá a los alumnos la hoja que contiene las dos publicaciones del sistema periódico de Menedeleiev, que aparecen en el Anexo 8. El docente dirige la actividad a través del uso de preguntas como: *¿Quién creéis que fue el autor de esta tabla*?, *¿Sabéis de donde era y que profesión tenia*?, *¿En qué año pensáis que fue elaborada esta tabla*? Además, los alumnos deberán buscar un sistema periódico actual para investigar las diferencias y semejanzas de las dos tablas.

Con la intervención del docente se contextualizarán los datos recogidos hasta el momento y se procederá a la introducción del Congreso de Karlsruhe. Los alumnos recibirán la carta que Mendeleiev escribió a su profesor de Química de la Universidad de San Petersburgo tras haber participado en el Congreso de Karlsruhe, que aparece en el Anexo 9. Previamente a la lectura de la carta se les preguntara a los alumnos: *¿Qué importancia tienen los congresos científicos en la actualidad*?, *¿Pensáis que en los siglos anteriores han existido este tipo de congresos*?, *¿Pensáis que estaban organizados de la misma manera que hoy en día*?, *¿Qué pensáis que se discute en los congresos*? Tras la lectura de la carta, los alumnos deberán contestar a las siguientes preguntas: *¿Cuál fue la importancia del Congreso de Karlsruhe*?, *¿Cuáles fueron los objetivos de dicho congreso*? La realización de esta actividad tiene como objetivo la

compresión de la importancia del Congreso de Karlsruhe en el desarrollo del sistema periódico y que la puesta en común de las ideas de los científicos representa un aspecto fundamental para el progreso adecuado de la ciencia.

Está actividad continuará con la investigación del:

(a) Marco teórico del que Mendeleiev disponía para la organización de su tabla.
(b) El estudio de las ventajas de la tabla de Mendeleiev y las discrepancias con la tabla actual.
(c) La investigación de las aportaciones de los científicos que modificaron la tabla de Mendeleiev para llegar a la organización final actual.

Dicha actividad se realizará en grupos. Dos grupos investigaran el punto (a), un grupo el punto (b) y otros dos grupos el punto (c). El punto (a) de la actividad tiene como objetivo conocer las diversas organizaciones del sistema periódico a lo largo de la historia y que concepto químico se empleó para dicha organización. El punto (b) tiene como objetivo la compresión de la aceptación general de la tabla periódica de Mendeleiev por la comunidad científica, relacionar la tabla periódica de Menedeleiev con el congreso de Karlsruhe, investigar las diferencias con respecto a las otras organizaciones previas, identificar los conocimientos científicos previos que Mendeleiev utilizó. Finalmente, el punto (c) tiene como objetivo entender que un concepto científico ha ido evolucionando con la historia, que sigue evolucionando en el presente y que va a seguir evolucionando en el futuro. Por ello, los conocimientos científicos no son productos de un científico genial en un momento histórico en concreto, sino el resultado de un proceso de evolución largo al que participa la entera comunidad científica.

2.4.2. Lavoisier y la Ley de conservación de masa

A. Descripción y problemas de aprendizaje

La Ley de conservación de masa fue establecida por Lavoisier en 1789 y ha constituido una de las leyes fundamentales del cambio químico. Lavoisier enunció que:

> Nada se crea en las operaciones del arte ni en la naturaleza y puede establecerse como principio que en toda operación hay una cantidad igual de materia antes y después de la operación…Sobre este principio se funda todo el arte de hacer experimentos en química. (Martín, 2004, p. 18)

En la actualidad, con la ayuda de las explicaciones proporcionadas por la teoría atómica, la Ley de conservación de masa se puede expresar de diversas maneras, siendo la más común

la siguiente: en una reacción química la masa de los reactivos debe ser igual a la masa de los productos de reacción (Escobar y Benavides, 2015).

El aprendizaje significativo de esta ley química requiere la compresión adecuada de conceptos químicos como átomo, molécula, masa atómica, masa molar, masa molecular, cambio físico y químico, las ecuaciones químicas y su ajuste. Asimismo, la compresión correcta de la ley es fundamental para el posterior aprendizaje de los cálculos estequiométricos (Escobar y Benavides, 2015).

Las investigaciones sobre los problemas de aprendizaje de los cambios físicos, químicos y la Ley de conservación de masa concluyeron, a modo general, que los alumnos piensan que han entendido correctamente el concepto de la ley. Sin embargo, en el caso de resolución de ejercicios en los cuales es necesario aplicarla, los alumnos no emplean correctamente dicho concepto (Sánchez y Oñorbe, 1992). Este estudio pone de manifiesto la importancia de la metacognición en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Además, los alumnos no hacen una diferenciación correcta de los conceptos de cambio físico y químico (Hesse y Anderson, 1992; Landau y Lastres, 1996; Ozmen y Alipasa, 2003).

La falta de compresión de la Ley de conservación de masa se puede relacionar con una falta de compresión del ajuste de las ecuaciones químicas. Un estudio llevado a cabo con alumnos de ESO destaca que, aunque son capaces de ajustar correctamente las ecuaciones químicas, los alumnos no entienden la implicación química de dichas ecuaciones. Esto se evidencia en la compresión deficiente de los coeficientes y de los subíndices de cada componente de la ecuación química, así como en la compresión inadecuada de las leyes empíricas que gobiernan el uso de estos conceptos en el ajuste de las ecuaciones químicas (Yarroch, 1985).

Stavy (1990) investigó la capacidad de los alumnos para reconocer la conservación de la materia y la reversibilidad de los procesos químicos en procesos de fusión, disolución y evaporación. Los alumnos que reconocían la conservación de masa en el proceso de fusión, no la reconocían en el proceso de evaporación. Los alumnos consideran que un material fundido pesa menos que el mismo material en estado sólido y que un gas pesa menos que el mismo en estado líquido o sólido. Las concepciones erróneas sobre las diferencias de peso en estado sólido, líquido y gas, también se han encontrado en otros estudios. Algunas ideas erróneas han sido atribuidas a la falta de pensamiento lógico de los alumnos, mientras que en otros casos han sido atribuidas a la existencia de un sistema de conocimiento alternativo que afecta la habilidad de los alumnos para entender el proceso de conservación (Ozmen y Alipasa, 2003).

Referente al concepto de masa y volumen, algunos alumnos piensan que la masa es "*algo que se toca*", que "*se ve*" y que "*ocupa sitio*". El concepto de volumen se confunde con el concepto de masa en las explicaciones de los procesos de disolución y combustión (Sánchez y Oñorbe, 1992). En cuanto a los cambios de estado, los alumnos piensan que la transformación de un líquido en gas produce una bajada de masa en la sustancia o la desaparición de la sustancia. Además, los alumnos piensan que en los procesos de disolución disminuye la masa del soluto (Gómez *et al.*, 1992).

Un estudio que analizó las ideas previas de los alumnos y el éxito de la aplicación de laboratorios virtuales en la enseñanza de la Ley de conservación de masa destaca que las respuestas de los alumnos tras las actividades siguen estando muy influenciadas por sus ideas previas. Las repuestas incluyen una pequeña cantidad de los conceptos químicos estudiados en clase (Escobar y Benavides, 2015). Asimismo, se ha destacado en otros estudios que los alumnos de universidad mantienen parte de las preconcepciones formadas durante la enseñanza secundaria (Landau y Lastres, 1996). Una vez más se demuestra que las ideas previas de los alumnos son generales, estables y resistentes al cambio conceptual mediante una clase tradicionalmente organizada (Escobar y Benavides, 2015; Ozmen y Alipasa, 2003).

B. Presentación en los libros de texto

En cuanto a Lavoisier, el cuadro que presenta a Marie Anne Paulze y Antoine Laurent Lavoisier, creado por el pintor Jaques-Louis David en 1788, es un símbolo histórico presente en la mayoría de las narrativas históricas en los libros de texto. El análisis de libros de texto del marco LOE destaca que la mayoría otorgan a Lavoisier el papel de padre fundador de la Química. Otros libros lo presentan como el creador de la Ley de conservación de masa, así como el científico que aceptó la definición de elemento químico de Boyle. Los libros de texto de Bachillerato comparten el papel de creador de la Química de Lavoisier con otros científicos como Dalton y Berzelius. En algunos casos la cuestión histórica se ignora por completo, mientras que en un solo libro de texto se destaca que el conocimiento científico es el producto de un proceso de evolución colectiva (Moreno y Calvo, 2018).

La imagen de Lavoisier como padre de la Química ha sido desarrollada en el siglo XIX y ha persistido hasta la actualidad a través de los materiales didácticos empleados, como los libros de texto (Bertomeu-Sánchez, 2006). Los trabajos sobre la HDC han demostrado que la Química ya estaba considerablemente desarrollada antes de las contribuciones de Lavoisier (Lawrence, 2009). El papel de fundador ha sido otorgado a Lavoisier en base a dos justificaciones: el hecho de introducir la balanza en la práctica química y el de vencer la teoría

del flogisto de Stahl. El estudio de los historiadores argumenta que el uso de la balanza en la práctica es presente en numerosos trabajos experimentales llevados a cabo antes de Lavoisier. En cuanto a la teoría del flogisto, estudios en los que se analizan sus cuadernos de laboratorio no representan una prueba contundente de su victoria contra esa teoría. En los libros de texto de Bachillerato la teoría del flogisto se describe en solo un 30% de los libros analizados, presentándola en la mayoría como la teoría derrotada por Lavoisier (Moreno y Calvo, 2018).

Un aspecto que genera bastante preocupación es la acción intencionada de prescindir del papel de las mujeres en la evolución histórica de la Química. El papel relevante de Marie Anne Paulze ha sido destacado por numerosos historiadores de ciencias. Su papel activo en la HDC es más importante que el solo acompañamiento y apoyo de su marido Lavoisier. Marie Anne Paulze ha realizado traducciones de trabajos científicos, diseñó las instalaciones experimentales y los instrumentos utilizados en la práctica, organizó las reuniones científicas de su época. Cabe hacer hincapié en este punto que ninguno de los libros de texto analizados presenta actividades relacionadas con la actividad y el papel de Marie Anne Paulze en la revolución química desde un punto de vista histórico (Moreno y Calvo, 2018).

C. Propuesta de transposición

Tal y como se ha mencionado previamente, la compresión de la Ley de conservación de masa es un concepto fundamental para el posterior aprendizaje de otros conceptos relacionados con las reacciones químicas. Los alumnos pueden llegar a saber aplicar la Ley de conservación de masa en las ecuaciones químicas sin conocer realmente su significado. Siendo asignado el desarrollo de esta ley a Lavoisier y viendo la manera en la cual Lavoisier está descrito en los libros de texto, se considera altamente importante una modificación de la manera de presentarlos. Por ello, se ha diseñado la siguiente transposición didáctica para alumnos de 3º ESO. Las actividades planteadas a continuación tienen como objetivos: el estudio de la evolución del conocimiento científico en su contexto social e histórico, la compresión de la existencia de un marco teórico previo para el desarrollo de las teorías científicas, fomentar la visión del conocimiento científico como el resultado de la colaboración entre distintos científicos, contextualización de la Ley de conservación de masa.

La actividad propuesta empieza con el planteamiento de la pregunta que tiene un papel introductorio, así como conocer las ideas previas de los alumnos. Los alumnos deberán discutir en grupos y anotar en su cuaderno que pasa con la masa de las sustancias en la siguiente reacción química: $CH_3COOH + NaHCO_3 \longrightarrow NaCH_3COO + H_2O + CO_2$

En general, los alumnos llegan a comprender mejor los conceptos didácticos mediante el uso de actividades prácticas. Por ello, se propone como práctica de laboratorio llevar a cabo la reacción entre el hidrogenocarbonato de sodio y el vinagre, en sistema cerrado y abierto. Como el nivel cognitivo de los alumnos se sitúa en un nivel concreto inicial conforme la taxonomía de Shayer y Adey, se les proporcionará un guion para llevar a cabo la práctica. Los alumnos deberán colocar sobre una balanza un frasco de boca ancha con 2 gramos de hidrogenocarbonato de sodio y dentro de este un tubo de ensayo con 5 mL de vinagre. Deberán pesar y anotar el valor de la masa. Luego se derramará el contenido del tubo de ensayo dentro del frasco. Cuando finalice el desprendimiento de CO_2 (observable como un burbujeo), se anotará el nuevo valor de la masa. La siguiente parte de la práctica es repetir el procedimiento descrito anteriormente, pero en este caso el frasco se cierra tanto al pesar como en el momento de la reacción. Tras haber realizado la práctica de laboratorio los alumnos deberán escribir un informe en el que presentarán sus predicciones, observaciones y conclusiones.

La segunda parte de la actividad pretende que el alumno situé el origen de esta Ley en el contexto social-histórico. En este momento se les preguntará a los alumnos los resultados de las pesadas llevadas a cabo en la primera parte de la actividad, la diferencia entre los dos tipos de experimentos y que piensan que ha pasado. Se describirá la Ley de conservación de masa. Se llevará a cabo un paralelismo entre la manera en la que Lavoisier construyo su conocimiento científico y la manera en la cual han evolucionado las ideas de los alumnos durante la práctica de laboratorio. Se hará hincapié en que las teorías científicas evolucionan de la misma manera que las teorías de los alumnos. Por ejemplo, se espera que antes de realizar la práctica de laboratorio los alumnos indiquen que la masa de las sustancias de la reacción química varia. Después de realizar la reacción en sistema abierto los alumnos pensaran que sus predicciones fueron correctas. Sin embargo, tras llevar a cabo la reacción en sistema cerrado los alumnos observaran que la masa de las sustancias se mantiene constante. En este momento, se plantea el reto para los alumnos: ¿*Por qué se queda constante la masa de las sustancias*? Para encontrar la respuesta a dicha pregunta, necesitaran una teoría, que es la Ley de conservación de masa.

Se procederá a la discusión de la manera en la que a una teoría se le aportan mejoras con el desarrollo de otra, lo que lleva a la evolución del conocimiento científico. La existencia de las premisas de la teoría del flogisto llevó a Lavoisier a realizar sus estudios experimentales y por ello al planteamiento de su teoría de la combustión. Estas teorías y estudios conllevaron al final a la formulación de la Ley de conservación. Los alumnos deberán hacer una búsqueda bibliográfica sobre esta evolución de las teorías científicas, contestando a las siguientes preguntas: ¿*Qué es la teoría del flogisto*?, ¿*En que se basa y que no puede explicar*?, ¿*Qué*

describe la teoría de combustión de Lavoisier?, ¿Por qué fue necesaria la construcción de otra teoría?, *¿Cuál era el marco teórico de Lavoisier para la formulación de la Ley de conservación de masa*?

Asimismo, los alumnos deberán buscar información sobre la revolución química del siglo XVIII, analizando los acontecimientos más relevantes y los avances tecnológicos que se produjeron en ese periodo histórico. Finalmente, se discutirá la vida de Lavoisier y el contexto social-histórico en el que desarrolló su trabajo. Para está discusión se utilizará el texto descrito en el Anexo 10.

2.4.3. El mol y el número de Avogadro

A. Descripción y problemas de aprendizaje

El concepto de mol[1] se introduce en 3º ESO junto con el número de Avogadro. Estos dos conceptos están estrictamente relacionados y se discutirán en conjunto para conseguir su adecuada compresión. Los alumnos necesitan conocer el concepto de mol para poder relacionar el mundo microscópico con el macroscópico, tal como viene descrito en el RD 1106/2014. Asimismo, es un conocimiento fundamental para entender que los procesos químicos son el fruto de reacciones que tienen lugar entre entidades elementales muy pequeñas (átomos, moléculas, iones) que reaccionan en proporciones determinadas.

El proceso de enseñanza-aprendizaje del concepto de mol es un tema muy analizado en trabajos de investigación (Furió *et al.*, 1999), siendo un aspecto muy relevante para la resolución de ejercicios de estequiometria. Desde un punto de vista didáctico, Gabel y Bunce (1994b) indican que las concepciones alternativas de los alumnos se deben a un proceso de enseñanza-aprendizaje deficiente e inadecuado. El aprendizaje significativo del concepto de mol en la ESO plantea muchos problemas y es considerado una de las principales dificultades para la compresión de las relaciones cuantitativas en Química (Pozo, 1991). Los errores conceptuales que se detectan en el aprendizaje del concepto de mol se deben a una falta de concordancia entre los químicos en cuanto a la definición del mol; a la enseñanza del mol como una idea matemática abstracta; a la falta de compresión de los conceptos previos al mol por parte de los alumnos y al hecho de que el número de Avogadro no se puede "*ver*". Algunos autores mencionan que una posibilidad para evitar la mala compresión del concepto de mol, y que también explique el valor numérico de la constante de Avogadro, sería la enseñanza desde la perspectiva histórica, así como la definición del Sistema Internacional (SI) (Camaño *et al.*, 1983). En un trabajo relacionado con las concepciones del profesorado sobre el concepto de

[1]El mol, cuyo símbolo es mol, es la unidad de cantidad de sustancia del SI. Un mol contiene exactamente 6.022 140 76 x 10^{23} entidades elementales. Este valor es el valor numérico fijo de la constante de Avogadro, NA, cuando se expresa en mol^{-1}, y se llama número de Avogadro. Recuperado de https://iupac.org/new-definition-mole-arrived/.

mol, Furió *et al.* (1999) ponen de manifiesto la gravedad del problema a la vista de que las visiones erróneas sobre dicho concepto son muy extendidas a toda la comunidad científica, profesorado, libros de texto, autores de publicaciones prestigiosas. La compresión adecuada de un concepto didáctico por parte del profesorado es muy importante para asegurar el éxito del proceso de enseñanza-aprendizaje. No obstante, las transposiciones didácticas que se llevan a cabo no son adecuadas, introduciendo el concepto de mol con su inicial significado postulado por Ostwald. Las concepciones de los profesores, al identificar el concepto de mol con número de entidades elementales o con la masa, es coherente con su presentación en los libros de texto de Química. Los autores mencionan que las causas de los problemas de aprendizaje pueden ser la presentación ahistórica y aproblemática del concepto que genera también deficiencias epistemológicas y la introducción operativa muy breve y rápida.

En un estudio realizado en alumnos de 15 años de ESO se han encontrado tres principales concepciones erróneas en relación con el concepto de mol: (1) el mol es una cantidad de sustancia concreta y no un número; (2) el mol es un número concreto de partículas de gas y característica de un gas (Novick y Menis, 1976); (3) los alumnos relacionan el concepto de mol con otros conceptos como la masa, el volumen, la densidad o el número de átomos (Strömdahl *et al.*, 1994; Tullberg *et al.*, 1994).

De manera análoga, Staver y Lumpe (1993), indica que los alumnos definen el número de mol como un número igual a 6.02×10^{23}, confundiendo con el número de Avogadro. Además, asocian el mol a la masa y no a la cantidad de sustancia y no diferencian entre mol de una molécula y mol de un átomo. Esto se debe principalmente a la estrategia empleada por el docente para resolver ejercicios relacionados con el mol (Khang y Sai, 1987). Por otro lado, los alumnos intentan evitar el uso del concepto de mol porque ignoran el significado del concepto cantidad de sustancia y no identifican el mol como su unidad (Furió *et al.*, 2006).

B. Presentación en los libros de texto

El análisis de libros de texto de secundaria y universitarios pone de manifiesto la necesidad del uso de analogías familiares para la introducción del concepto de mol. Los autores también concluyen que existen varias maneras en las que se introduce el mol en los libros de texto, pero en general predominan dos definiciones: como el número de Avogadro y como la masa de sustancia que se encuentra en 12 g del isótopo de ^{12}C. Si se define en términos de ^{12}C se introducen conceptos relacionados con el átomo, mientras que el valor del número de Avogadro se presenta como una cantidad determinada experimentalmente. El nivel cognitivo que se requiere para la compresión de las definiciones es muy alto debido a una naturaleza

abstracta y teórica. Para introducir el mol casi todos los libros de texto utilizan la necesidad de descubrir un modo de contar partículas muy pequeñas que no se pueden pesar directamente, así como analogías, como la docena (Staver y Lumpe, 1993).

Por otro lado, en los textos de química entre 1891 y 1970 se puede destacar una relación muy estrecha entre el concepto de mol y el número de Avogadro. El mol se presenta con el significado otorgado por Ostwald a principios de siglo XX (Hawthorne, 1973). Asimismo, la mayoría de los libros de texto analizados no presentan la historia y epistemología del concepto cantidad de sustancia y su unidad el mol. No mencionan la crisis del siglo XIX que tuvo que resolver la teoría atómica ni los paradigmas que representaron el origen de la Química moderna, como, por ejemplo, en que proporciones se combinan los elementos que forman los compuestos (Padilla *et al.*, 2005).

C. Propuesta de transposición

Para la compresión total del concepto de mol los alumnos de 3º de ESO necesitan haber alcanzado el nivel conceptual 3B conforme la taxonomía de Shayer y Adey, que implica la compresión de la proporción múltiple, la utilización de símbolos abstractos para resolver problemas, establecer relaciones causa-efecto, emitir y comprobar hipótesis. García *et al.* (1990) destacan que solo el 5-6 % de los alumnos son capaces de comprender el concepto de mol.

En la nueva definición del mol de la International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) se introduce el número de Avogadro. No obstante, la pregunta que surge es *¿por qué exactamente este número 6.02 x 10^{23} y no otro*? (Camaño *et al.*, 1983). Un planteamiento que responda a dicha pregunta tiene que considerar el origen histórico del concepto de mol, así como del número de Avogadro.

Teniendo en cuenta lo presentado previamente, una manera adecuada de introducir el concepto de mol sería a través de un aprendizaje por descubrimiento. Este tipo de aprendizaje fortalece la capacidad de los alumnos para el descubrimiento de los principios básicos sobre los que la ciencia se estructura, a partir de la manipulación de material didáctico proporcionado por el docente (Novack, 1988). Dado que para poder llevar a cabo un aprendizaje significativo de los conceptos científicos se requiere conocer la historia de su pasado, sus orígenes y su evolución histórica (Furió y Padilla, 2003), el concepto de mol necesita una introducción histórica adecuada y su evolución a través del tiempo, hasta hoy en día.

Dicha actividad se llevará a cabo a través de un trabajo en grupo cooperativo, en el que cada grupo debe analizar parte de un material entregado por el docente y dibujar el mapa

conceptual de la historia del concepto de mol. El material proporcionado por el docente sería una historia adaptada de las publicaciones existentes sobre la historia del concepto de mol y el número de Avogadro, presentando además la parte curiosa, graciosa de la historia como, por ejemplo: que la hipótesis de Avogadro no la enunció Avogadro; que el número de Avogadro no lo calculó Avogadro; "Avogadro-Abogado" algo si tiene que ver con el apellido del químico turinense: era abogado en derecho canónico (Córdova, s.f.).

Asimismo, se pretende enseñar que la ciencia tiene un lado humano y que el avance científico no se llevó a cabo sin discusiones entre los químicos, sino más bien que la definición de los conceptos o leyes que existen hoy en día en la Química requirió de un proceso complejo en el que existieron distintas opiniones científicas, similares u opuestas. Para cumplir con dicho objetivo se podría analizar por ejemplo el congreso de Karlsruhe, su propósito y aportación a la Química. Además, se discutirá en base a ejemplos históricos (por ejemplo, la polémica Proust-Berthollet (Furió y Padilla, 2003)); cómo a través del tiempo los científicos han analizado, discutido y demostrado o destruido empíricamente las aportaciones de otros científicos. Posteriormente, se unirán todas las aportaciones de los grupos, en un debate general, para hacer el esquema completo.

2.4.4. Enlace químico

A. *Descripción y problemas de aprendizaje*

El enlace químico es un concepto cuya compresión es fundamental para el estudio exitoso de otros conceptos de Química, como, por ejemplo, las reacciones químicas, la estructura de la materia, los compuestos orgánicos. El tema, que implica el uso del enlace químico, es un área muy abstracta y compleja, que se sitúa muy lejos de la vida cotidiana de los alumnos, dificultando la compresión de los conceptos. Estas dificultades son generadoras de numerosos problemas de aprendizaje. La literatura que describe las preconcepciones de los alumnos sobre el enlace químico es muy extensiva y relevante. El análisis de varios trabajos concluye con los siguientes aspectos: los alumnos no son capaces de diferenciar entre el enlace covalente y el enlace iónico (Luxford y Bretz, 2013; Vladusic *et al.*, 2016); tienen una compresión escasa de la naturaleza electrostática del enlace químico (Boo, 1998; Taber *et al.*, 2012); confunden las fuerzas inter- e intramoleculares (Schmidt *et al.*, 2009; Tarhan *et al.*, 2008); mezclan los niveles del conocimiento científico al atribuir propiedades macroscópicas a las partículas (Furió y Dominguez, 2007; Othman *et al.*, 2008).

La formación de las preconcepciones sobre el enlace químico de los alumnos se debe, fundamentalmente, a los tres niveles de representación del enlace químico: macroscópico, submicroscópico y simbólico. La preconcepción más extendida es confundir o atribuir las propiedades macroscópicas de las sustancias a partículas, átomos o moléculas (De Posada, 1999; González-Felipe *et al.*, 2017b; Pérez *et al.*, 2017). Esto puede ser debido a que los alumnos mezclan los tres niveles de representación del enlace químico. También se mencionan las siguientes concepciones erróneas: los compuestos iónicos están formados por moléculas; una molécula es polar por la mera presencia de pares de electrones solitarios; la geometría tetraédrica es suficiente para predecir la polaridad de una molécula independientemente de la naturaleza química de los átomos; los enlaces de hidrogeno son más fuertes en las sustancias con más átomos de hidrogeno; la polaridad de los enlaces y los pares de electrones determinan la forma de la molécula (Pérez *et al.*, 2017).

En relación con los procesos en los cuales se agrupan átomos de uno o de diferentes elementos, los alumnos consideran que: la unión de los átomos con la formación de la molécula es un proceso de cambio de estado; el enlace iónico se forma entre átomos del mismo elemento; la formación de la molécula de oxígeno es un proceso físico. Asimismo, se señala la preconcepción que el suministro de energía es fundamental para la formación de los enlaces químicos. La compresión deficiente del enlace covalente dirige a los alumnos a sobrevalorar y exagerar la importancia del enlace iónico, utilizándolo como explicación para cualquier enlace químico (Riboldi *et al.*, 2004). Esta compresión deficiente puede tener origen en la estrategia didáctica empleada para la enseñanza del enlace químico en el aula y a su presentación en los libros de texto (De Posada, 1999). Además, los conceptos de ion y de red iónica son conceptos de dificultad alta para los alumnos (De Posada, 1999), mientras que el enlace metálico se ignora completamente en las discusiones generales sobre el enlace químico (Lazo y Zúñiga, 2013).

Para proporcionar una explicación de las propiedades de las sustancias, como el punto de fusión, y su relación con el enlace químico, los alumnos no utilizan la fuerza del enlace y la estructura de la sustancia, sino una explicación unicausal (García y Garritz, 2006). Además, al explicar las causas del enlace químico los alumnos recurren a la regla del octeto, siendo este el marco teórico más compatible que tienen a su inmediato alcance (García y Garritz, 2006; González-Felipe *et al.*, 2017b). Tras comparar las preconcepciones sobre el enlace químico de los alumnos de ESO con los alumnos de Bachillerato y de Educación Universitaria, se destaca una vez más que estas ideas erróneas son muy difíciles de eliminar (Bello y Herrera, 2007; González-Felipe *et al.*, 2017b; Lazo y Zúñiga, 2013).

B. Presentación en los libros de texto

El análisis de los libros de texto destaca que la mayoría de las preconcepciones de los alumnos se genera a partir de la presentación del enlace químico en los libros de texto (Bergqvist *et al.*, 2013). El enfoque tradicional de la enseñanza del enlace químico implica que la descripción de los distintos tipos de enlaces se hace independientemente uno del otro. El empleo de generalizaciones y simplificaciones para describir el enlace químico representa una de las fuentes de los problemas de aprendizaje (Levy *et al.*, 2008).

Moreno y Calvo (2015) llevaron a cabo un estudio sobre los libros de texto de secundaria, analizando las clasificaciones y los modelos utilizados en el estudio de los enlaces químicos, así como la presentación del enlace químico desde una perspectiva histórica. Los autores observaron que la mayoría de los libros de texto analizados presentan los tres tipos de enlaces químicos y las fuerzas intermoleculares. La distinción entre los tipos de enlaces se basa en el concepto de electronegatividad de los átomos involucrados en el enlace. Este criterio de diferenciación es útil para los niveles inferiores de la ESO, pero puede llegar a presentar ciertas limitaciones en los siguientes niveles educativos. Además, dichas limitaciones pueden ser generadores de preconcepciones cuando se estudia la geometría molecular y la Química de los compuestos de coordinación. La mayoría de los libros de texto de ESO utilizan el modelo atómico planetario del enlace químico para la explicación de las propiedades de las sustancias.

En general, se ignora la historia de los enlaces químicos en los libros de texto. Si se muestra, esta consiste en la descripción cronológica de los hechos, presentando algunos acontecimientos puntuales y algunos científicos que desarrollaron teorías, como la teoría del enlace de valencia, la teoría de Lewis, la hibridación. La descripción de las aportaciones de algunos científicos, como Lewis, Langmuir, Kossel y Pauling contribuyen a la construcción de la visión distorsionada, acumulativa y lineal de la Química. Entre las referencias cronológicas existentes, se enfatiza el año 1916 como una fecha muy importante, en la cual Lewis propuso su teoría del enlace químico, pero no se presenta información sobre las siguientes contribuciones de los científicos para su transformación en el conocimiento científico actual. Este es otro factor que contribuye a la promoción de la visión individualista de la ciencia (Moreno y Calvo, 2015).

González-Felipe *et al.* (2017a) analizaron el tratamiento del enlace químico en los libros de texto. En cuanto a la secuenciación de contenidos, se destaca que ningún libro dedica un capítulo entero sobre el enlace químico en 3º ESO. En todos se introduce primero el enlace iónico, considerado como un aspecto generador de ideas erróneas (Taber, 2001). No se describe

la causa de la formación del enlace químico, justificando dicha formación a través de la adquisición de la configuración electrónica de gas noble (González-Felipe *et al.*, 2017a). Además, se ignora la existencia de fuerzas electrostáticas para explicar los distintos tipos de enlaces químicos (García y Garritz, 2006). La formación del enlace iónico se explica como una transferencia de electrones, mientras que el enlace covalente se explica como una puesta en común de electrones. El lenguaje científico utilizado para describir los conceptos didácticos varía mucho en la misma editorial y entre las distintas editoriales. Por ejemplo, las sustancias del tipo N_2, O_2 se describen como "*sustancias simples*" o como "*elementos moleculares*". Los criterios de clasificación de los enlaces y las definiciones también varían según editoriales y niveles educativos. Para la explicación de la formación del enlace químico se emplean muchos modelos que dependen de la editorial y el curso. En el caso del enlace covalente predomina la utilización de la teoría de Lewis. Ningún libro destaca la posibilidad de utilizar distintos modelos para explicar el enlace químico, ni sus interpretaciones y limitaciones. En cuanto a la inclusión de las fuerzas intermoleculares, solo en los niveles educativos superiores podemos encontrar su mención (González-Felipe *et al.*, 2017a).

C. Propuesta de transposición

Los químicos analizan las sustancias en términos de partículas submicroscópicas, mientras que los enlaces químicos proporcionan las explicaciones de las propiedades físicas y químicas de dichas sustancias y de los procesos químicos. Por ello, la compresión adecuada del concepto de elemento químico es altamente fundamental en la enseñanza de la Química. El enlace químico se trata a distintos niveles educativos, 3º - 4º de ESO y 1º - 2º de Bachillerato, pero la transposición didáctica se dirige a alumnos de 3º ESO.

El nivel de desarrollo de los alumnos es fundamental para la compresión adecuada del concepto de enlace químico. Los alumnos de 3º de ESO se encuentran en un estado de pensamiento operatorio concreto: algunos conocen el concepto de carga eléctrica y están familiarizados con la presencia de átomos y moléculas, mientras que otros piensan en una estructura continua de la materia (García y Garritz, 2006). Para conseguir un aprendizaje significativo, conforme la teoría de Ausubel, es necesario que los alumnos dispongan de ideas generales, en las cuales se introduzcan conceptos específicos (De Posada, 1999). El concepto general en relación con el enlace químico es la estructura de la materia. Este concepto necesita un pensamiento abstracto, formal y lógico que los alumnos de ESO pueden no poseer.

La presentación de la historia del concepto de enlace químico realizada en el apartado anterior pone de manifiesto la complejidad de este tema debido a la existencia de distintos

modelos correspondientes a distintos marcos teóricos presentes en la misma época histórica (Solbes *et al.*, 2010). De ahí, se deduce también la elevada dificultad que los alumnos tienen a la hora de comprender el enlace químico.

Para generar un aprendizaje significativo del enlace químico se propone una actividad introductoria en la cual los alumnos realizarán, con el apoyo del docente, un mapa conceptual del enlace químico (ver ejemplo Anexo 11). El objetivo de esta actividad es la toma de contacto con todos los tipos de enlaces químicos que existen y las propiedades de los tipos de sustancias resultantes, aunque a este nivel educativo solo se trabajaran el enlace iónico y covalente. Asimismo, se pretende realizar un cambio metodológico al reemplazar la enseñanza tradicional, en la que se hace uso de la explicación típica "los átomos tienden a alcanzar la configuración electrónica de gas noble y tener ocho electrones en su última capa", a una explicación basada en las interacciones electrostáticas entre átomos. Teniendo en cuenta el contexto educativo en el que se plantea la actividad, acceso a ordenadores e internet, el mapa conceptual se realizará con el software libre CmapTools. El empleo y aprendizaje de esta herramienta digital proporciona a los alumnos la posibilidad de mejorar las competencias digitales, corregir ideas erróneas, mejorar la estructura de la información y la organización jerárquica.

Posteriormente, se propone trabajar en la evolución histórica del concepto de enlace químico mediante la investigación de los modelos de enlace y de su ámbito de validez. Esta actividad se realiza con el fin de construir una imagen compleja y progresiva del enlace químico. Se pretende fomentar la visión sobre los modelos científicos como construcciones humanas, utilizadas por los científicos en un determinado momento y contexto social-histórico. Los modelos científicos se pueden utilizar para objetivos concretos pero su aplicación depende del contexto en el que se emplean. Además, se persigue promover la idea de que la definición de los distintos tipos de enlaces químicos no se construyó independientemente uno del otro, sino que se realizó en conjunto mediante el uso de varios modelos científicos a la vez.

La diversidad y complejidad del tema y el nivel cognitivo de los alumnos limita a utilizar material bibliográfico adaptado proporcionado por el docente. En grupos, los alumnos deberán leer y entender la información presente en el material bibliográfico, así como resumir la información en una tabla como la que se describe en el Anexo 12. El docente tendrá el papel de dirigir la actividad mediante el uso de interrogaciones didácticas y la contextualización de los hechos históricos.

2.4.5. Reacción química

A. Descripción y problemas de aprendizaje

Muchos autores identifican el cambio químico como un concepto central y estructurante en la enseñanza de la Química. La compresión adecuada del concepto de cambio químico implica una transformación del sistema cognitivo, en la que se adquieren nuevos conocimientos y que ayuda a la transformación de las ideas previas de los alumnos (Garritz *et al.*, 2013).

Para entender el concepto de reacción química los alumnos necesitan haber entendido el significado de otros conceptos como el cambio de sustancias; la diferencia entre elemento, compuesto y mezcla; y saber aplicar la teoría atómica de la materia. Los principales problemas de aprendizaje que los alumnos tienen en relación con los cambios químicos son los siguientes: diferenciar entre un cambio químico y un cambio físico; identificar el cambio sustancial que ocurre en una reacción química; conocer el significado del ajuste de ecuaciones químicas; diferenciar entre cantidad de sustancia y masa molar; y comprender el significado de la conservación de masa en la reacción química (Méndez, 2013).

En un estudio realizado por Ahtee y Varjola (1998), con la intención de conocer el significado de la reacción química para los adolescentes, se observó que un 40% de los alumnos entrevistados identificaban el concepto de reacción química con el de disolución y cambio de estado. La confusión entre cambio de estado y cambio químico también ha sido evidenciada por otros estudios. Por ejemplo, de acuerdo con Schollum (1981), un gran número de alumnos piensan que al diluir un zumo de fruta o al disolver el azúcar en agua se realiza un cambio químico. En algunos casos, los alumnos son capaces de distinguir entre un cambio químico y un cambio físico, pero no son capaces de explicar cómo suceden estos cambios. Esta evidenciada dificultad en diferenciar los dos tipos de cambios está relacionada con el nivel cognitivo de los alumnos. En sus teorías, Piaget menciona que los menores de 10 años utilizan principalmente su experiencia perceptiva para explicar los procesos de disolución. Avanzando en la edad identifican el soluto en la disolución, pero los conceptos siguen sin estar del todo claros (De la Mata *et al.*, 2011).

En el caso de una compresión deficiente de las transformaciones físicas y químicas, los alumnos interpretan los cambios en una reacción química en función de la primera observación cualitativa mediante el análisis de estímulos perceptibles exteriores. Asimismo, el hecho de no tener muy claro el significado macroscópico de sustancia dirige a los alumnos a intentar explicar la conservación de materia en función del el carácter físico o químico de la sustancia.

En general, esta relación tiene un aspecto superficial, al considerar aspectos como las propiedades cualitativas observables (Furió y Furió, 2000).

Los alumnos tienden a pensar que una reacción química tiene lugar solo si se unen dos sustancias distintas, lo cual se puede explicar por el monopolio de la ecuación química en el aprendizaje de la reacción química y por la manera en la que se presenta la reacción química en los libros de texto (Caruso *et al.*, 1998). La falta de trabajo experimental está evidenciada por la capacidad limitada de los alumnos a relacionar conceptos macroscópicos fundamentales, como el reactivo en exceso y el reactivo limitante, con las ecuaciones químicas. Esto se debe a que la enseñanza de la reacción química se basa principalmente en el ajuste de las ecuaciones químicas. Además, es recurrente la idea de los alumnos de que cualquier cambio químico tiene que implicar algún cambio observable. De ahí, se evidencia la escasa compresión a nivel microscópico de la reacción química (Casado y Raviolo, 2005).

Bueso *et al.* (1988) realizaron un estudio sobre la interpretación de las reacciones redox por parte de los alumnos. En general, los alumnos de ESO y de universidad identifican la reacción redox como un intercambio de oxígeno y no como un cambio electrónico. Los alumnos aplican de manera incorrecta las ideas transmitidas en otras situaciones a nuevos conceptos. Por ejemplo, los alumnos emplean la idea general de que en la combustión de compuestos orgánicos se produce CO_2 y H_2O, para explicar el desprendimiento de humos en una reacción de oxidación del magnesio (Carboneli y Furio, 1987). En cuanto a la energía de las reacciones químicas, en algunos casos la energía es considerada solo una causa de la reacción o un efecto secundario. Algunos alumnos, así como docentes, consideran que la rotura de un enlace produce energía, una idea que puede tener su origen en el pensamiento social de necesidad de energía para la construcción (De la Mata *et al.*, 2011).

La existencia de los problemas de aprendizaje descritos previamente se debe principalmente a la enseñanza tradicional empleada en aula. Los alumnos no aprenden a construir modelos para entender cómo y porque ocurre una reacción química, no aprenden a utilizar el concepto de energía en sus explicaciones ni a establecer relaciones entre el enlace químico y la termodinámica (De la Mata *et al.*, 2011).

B. Presentación en los libros de texto

Raviolo et al. (2011) destacan que las definiciones típicas de una reacción química en los libros de texto son muy similares a la siguiente: “es un proceso en el cual una sustancia cambia para formar una o más sustancias nuevas*”* (p. 8). Se pone de manifiesto que el concepto de reacción química depende del de sustancia. También se ha destacado que pocos libros de texto

de ESO definen claramente el significado de una reacción o cambio químico. La idea de los alumnos sobre el cambio químico como la modificación de las propiedades de una sustancia tiene origen en las definiciones presentes en los libros de texto. Asimismo, algunos textos también favorecen el desarrollo de la idea errónea de que todos los cambios químicos implican cambios en las propiedades de las sustancias. La dificultad en diferenciar los cambios físicos de cambios químicos también puede ser asociada a la mención en los libros de textos que los cambios químicos son irreversibles mientras que los cambios físicos son reversibles (Raviolo *et al.*, 2011). Inmediatamente a la definición de reacción química, se presenta la ecuación química, siendo la que tiene el monopolio en los textos (Caruso *et al.*, 1998).

Los libros de textos describen el modelo corpuscular de la materia, aunque es muy poco utilizado en las explicaciones de los docentes. Posteriormente al estudio de la Cinética Química, se describe brevemente la reacción química desde un punto de vista molecular-dinámico (Caruso *et al.*, 1998).

En su análisis de distintos libros de texto Palmer y Treagust (1996) ponen de relieve que la dificultad en la compresión de los cambios físicos y químicos depende, una vez más, de las definiciones empleadas en los libros de texto. El artículo destaca varios inconvenientes al respecto: la falta de una única definición global satisfactoria del concepto; las palabras empleadas para definir los conceptos varían en el tiempo; y en un momento en concreto se utiliza una gran diversidad de términos científicos.

C. Propuesta de transposición

El concepto de reacción química es un elemento fundamental en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Química. Aunque el tema de la reacción química se desarrolla en el currículo en todos los niveles de ESO, la propuesta de transposición presentada se dirige a alumnos de 3º ESO teniendo en cuenta un nivel cognitivo formal inicial conforme la taxonomía de Shayer y Adey.

Muchos autores ponen de manifiesto la necesidad de redirigir la enseñanza de la Química hacia un cambio metodológico que considere las necesidades de los alumnos y sus preconcepciones. En primer lugar, el cambio debería empezar con el docente, que necesita pasar de una enseñanza basada en cálculos matemáticos y operaciones con ecuaciones químicas a una enseñanza constructivista que favorezca la compresión adecuada de las transformaciones químicas (Carboneli y Furio, 1987).

La propuesta de transposición consta del análisis de la evolución histórica de la reacción de combustión junto con el análisis de las teorías desarrolladas a lo largo de la historia para

explicarla. El objetivo de las actividades presentadas a continuación es que los alumnos entiendan que la reacción química, tal y como es conocida en la actualidad, se construyó tras un largo proceso evolutivo gracias a las aportaciones de los científicos pertenecientes a distintas épocas históricas.

La primera actividad para llevar a cabo empieza con la presentación de una serie de preguntas. Los alumnos deberán debatir en grupo y anotar en el cuaderno las reacciones de combustión más importantes en nuestra vida cotidiana y los requisitos fundamentales para que una reacción de combustión sucediera. En este momento se debería haber llegado a la hipótesis de trabajo: la reacción de combustión tiene lugar solo en presencia de oxígeno. Para comprobar dicha hipótesis se llevará a cabo la experiencia de laboratorio de extinción de una llama con dióxido de carbono. Para la práctica se les proporcionara a los alumnos con los reactivos químicos necesarios: una vela flotante, hidrogenocarbonato de sodio, vinagre, un bol alto, una cuchara. Los alumnos deberán llenar el bol con vinagre suficiente para permitir que la vela flote. El siguiente paso sería encender la vela y tapar el bol para tener un sistema cerrado. Una vez que se observe que la vela sigue encendida, se añadirá una cuchara de hidrogenocarbonato de sodio al vinagre y se volverá a tapar el bol. En este momento se apagará la vela. Es importante mencionar que la práctica de laboratorio no se llevará a cabo de manera tradicional con la ayuda de un guion de práctica. Durante el desarrollo de la práctica se pretende apoyar a los alumnos en su investigación. Por ello, el docente hará preguntas para dirigir a los alumnos a las siguientes etapas de la práctica. Asimismo, los alumnos tendrán la iniciativa y la libertad de experimentar para confirmar la hipótesis planteada. El docente solo tiene el papel de apoyo.

En este punto, la hipótesis inicial se confirmaría: el oxígeno es fundamental para la reacción de combustión. A continuación, se les pregunta a los alumnos si piensan que este aspecto ha sido conocido desde siempre o han existido otras teorías sobre el desarrollo del proceso de combustión. El objetivo de la pregunta es dirigir la actividad hacia el análisis de la evolución del concepto científico e introducir distintas contribuciones a dicha evolución, como, por ejemplo, la teoría del flogisto. Por ello, la siguiente actividad planteada es un problema basado en investigación en el que los alumnos deberán contestar de manera detallada a las siguientes preguntas: "*¿Cómo se ha llegado al conocimiento de la reacción de combustión que tenemos en la actualidad?, ¿Cuáles han sido las aportaciones de los científicos que consideráis más importantes y por qué?*"

El proceso de combustión representa el primer proceso químico conocido y utilizado por el hombre, desde la más antigua historia. El fuego fue inicialmente fuente de luz y calor, para que más tarde y hasta nuestros días se convirtiera en medio ideal para cocer los alimentos. Los

alumnos deberán investigar la evolución histórica del proceso de combustión y describir los aspectos que ellos consideran más relevantes. A través de esta actividad se pretende investigar y analizar la evolución del proceso de combustión y las ventajas aportadas para el desarrollo de la sociedad desde la Edad Antigua hasta la Edad Contemporánea. Asimismo, se dirige a la investigación del fuego en la alquimia, la posterior aparición de la teoría del flogisto y las aportaciones de los científicos de la época en el desarrollo del concepto científico de combustión actual.

Los alumnos serán divididos en grupos en los que trabajarán un periodo histórico en concreto. Deberán utilizar recursos bibliográficos de fuente académica, libros de texto y artículos científicos, y escribir un informe de máximo dos páginas. Posteriormente, se llevará a cabo una puesta en común de la información y un debate para analizar los distintos aspectos de la historia recogida. El debate tiene como objetivos reflexionar sobre el trabajo hecho y evaluar la adquisición de los objetivos propuestos al inicio. Se pretende analizar la realización de un cambio conceptual en los alumnos y la persistencia de las preconcepciones. Asimismo, se desea analizar la visión de los alumnos sobre el conocimiento científico, que debería ser entendido como el resultado de un proceso de evolución llevado a cabo con las aportaciones de numerosos científicos en distintos periodos históricos.

2.4.6. Modelos atómicos

A. Descripción y problemas de aprendizaje

La didáctica de la ciencia hace hincapié en la necesidad del correcto aprendizaje de los modelos atómicos con el fin de proporcionar a los alumnos una información introductoria en el ámbito procedimental, actitudinal y conceptual de la Química (Sanchez y Valcarcel, 2003). La complejidad y la naturaleza abstracta del átomo y de los modelos atómicos representan la fuente de una gran variedad de errores conceptuales. Numerosos estudios señalan que el proceso de enseñanza-aprendizaje de los modelos atómicos debe iniciar con la investigación de las concepciones alternativas de los alumnos (Uribe y Gallego, 2005).

Tejada *et al.* (2013) realizaron un estudio sobre las preconcepciones de los alumnos de los modelos atómicos, analizando sus respuestas al comparar los modelos atómicos de Dalton, Thomson y Rutherford. De manera general el estudio señala que los alumnos presentan respuestas puntuales y sin relación, sin haber entendido el significado de un concepto en construcción. Los alumnos utilizaron representaciones graficas en sus respuestas apoyadas por una información escrita, lo que pone de manifiesto el uso de la instrucción grafica por parte de

los docentes. Además, las respuestas graficas son casi idénticas a las representaciones de los libros de texto, indicando una memorización de los conceptos. Algunas respuestas siguen el orden histórico en el que los modelos atómicos fueron desarrollados, mientras que otras presentan datos gráficos y escritos incompletos, indicando un conocimiento deficiente sobre el concepto.

Los modelos atómicos más elegidos por los alumnos son los modelos de Bohr y Rutherford, por ser los modelos que más se acercan a sus ideas sobre los átomos. Además, para los alumnos los dos modelos no se distinguen en cuanto a la información que proporcionan. El modelo de Dalton también se nombra entre los favoritos de los alumnos, principalmente debido a la facilidad de aprenderlo (Quesada *et al.*, 2005).

En un estudio llevado a cabo con alumnos de 13 años se destaca que el modelo atómico predominante es un modelo orbital en el que el núcleo es muy pequeño e indivisible y está en reposo. Los alumnos describen que los electrones se mueven alrededor del núcleo, pero no saben explicar el porqué de ese movimiento. No saben diferenciar entre átomos y tampoco el porqué de la posición de los electrones con respecto al núcleo en base a los modelos atómicos conocidos (De La Fuente *et al.*, 2003).

En general, los estudios destacan que los alumnos son más propensos a pensar que los modelos son copias físicas de la realidad que personifican diferentes perspectivas espaciotemporales, en lugar de pensar en los modelos como construcciones que personifican diferentes perspectivas teóricas. Para una correcta representación mental de los modelos, los alumnos necesitan un amplio empleo de los modelos como herramientas intelectuales, un trabajo más completo con modelos proporcionando visiones conceptuales contrastantes y una discusión variada y centrada en el papel de los modelos en el desarrollo del conocimiento científico (Grosslight *et al.*, 1991).

B. Presentación en los libros de texto

El bloque 2 (La materia) del currículo representa un tema fundamental de la disciplina de Física y Química a todos los niveles educativos. Uno de los aspectos centrales de este tema lo representa el estudio de los modelos atómicos. El currículo legislativo, descrito en el RD 1105/2014, no destaca en ningún momento cuál de los modelos atómicos se debería tratar en cada nivel educativo. Por ello, cada libro de texto procesa de manera particular este aspecto (Doménech *et al.*, 2013).

En general, los libros de texto de ESO introducen errores conceptuales en la presentación de los modelos atómicos y favorecen la enseñanza memorística. Desde la perspectiva histórica,

los modelos atómicos se presentan de una manera descontextualizada, sin definir su línea de evolución. El tratamiento de los modelos de Thomson y Rutherford es deficiente en su explicación teórica, ya que solo se presentan los experimentos que produjeron el desarrollo de los modelos, sin explicar su evolución. El tratamiento del modelo mecano-cuántico es demasiado alto para el nivel cognitivo de los alumnos, siendo principalmente teórico con el fin de escribir configuraciones electrónicas. El modelo de Bohr, una vez más, se presenta de manera teórica sin su aplicación en justificar ciertas propiedades de la materia (Cid y Dasilva, 2012).

Se observa una tendencia general de los libros de texto a simplificar los modelos atómicos, produciendo una deformación del conocimiento y la actividad científica (Páez *et al.*, 2004). En particular, con respecto al modelo atómico de Bohr, el análisis de libros de texto destaca una falta de referencia a los problemas existentes para proceder a su desarrollo, así como la omisión de las contradicciones y las dificultades de la comunidad científica en el momento concreto de su desarrollo. Sin embargo, se presenta una visión ahistórica y aproblemática del modelo atómico, proporcionando una imagen lineal, positivista y acumulativa de la ciencia (Moreno *et al.*, 2010).

Quesada *et al.* (2005) analizaron el proceso de enseñanza-aprendizaje de los modelos atómicos a través de los libros de texto de Bachillerato que los docentes emplean en las aulas. Los autores mencionan que estos manuales presentan los modelos atómicos de Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr y el mecano-cuántico con sus correspondientes ideas fundamentales. Sin embargo, no se hace referencia a la necesidad de modelización de los modelos atómicos lo que induce una idea general y unitaria sobre el átomo, dirigiendo a los alumnos a elegir un único modelo en concreto. Tampoco se especifican las limitaciones de cada modelo atómico. La representación gráfica de los modelos de Bohr y mecano-cuántico, presente en el libro de texto, es incompleta. Además, algunos de los conceptos utilizados para la explicación de los modelos no han sido previamente explicados y los argumentos utilizados se mezclan al describir varios modelos.

En cuanto al tratamiento epistemológico de la evolución y construcción de los modelos atómicos de Rutherford y Thomson en los libros de texto de Bachillerato, Doménech *et al.* (2013) indican que estos son introducidos de manera deficiente y se les confiere una atención muy reducida. No se mencionan las características claves de los dos modelos atómicos y la trayectoria histórica y dificultades encontradas para definirlos. Asimismo, el modelo de Thomson está presentado de manera reducida, mientras que al de Rutherford se le presta una atención excesiva.

A la vista del tratamiento otorgado a los modelos atómicos en los libros de texto se puede concluir que no se ajusta a las necesidades y al nivel cognitivo de los alumnos. Asimismo, se presta una atención reducida a la evolución histórica, a las limitaciones y avances de cada modelo atómico. De esta manera no se proporciona la información necesaria para que los alumnos alcancen los estándares de aprendizaje evaluables descritos en el currículo en el RD 1105/2014: "Compara los diferentes modelos atómicos propuestos a lo largo de la historia para interpretar la naturaleza intima de la materia, interpretando las evidencias que hicieron necesaria la evolución de los mismos".

C. Propuesta de transposición

La enseñanza de los modelos atómicos desde una perspectiva histórica y epistemológica fomenta un aprendizaje significativo de un modelo científico y su importancia para el desarrollo del conocimiento científico. Además, ayuda a aumentar la capacidad de pensamiento crítico de los alumnos. La capacidad de argumentación reflexiva se puede desarrollar a través de la discusión sobre los conceptos aprendidos, así como sobre la manera en la que los alumnos entendieron el desarrollo de la Química en este ámbito. El uso de la evolución histórica para la construcción de un propio modelo mental, que encaje en el modelo científico, es necesario debido a la naturaleza abstracta del concepto de átomo y de los modelos atómicos (Uribe y Gallego, 2005).

La compresión adecuada de los modelos atómicos implica adquirir el conocimiento necesario para su uso en realizar predicciones y explicaciones sobre hechos en concreto y apoya a los alumnos en su proceso de compresión de la construcción del conocimiento científico (Sanchez y Valcarcel, 2003). La introducción cualitativa de los modelos atómicos presenta una gran dificultad asociada a la necesidad de disponer de un aparato matemático complejo (Solbes *et al.*, 1997). Por ello, algunos autores recomiendan introducir los modelos atómicos de forma secuenciada: el modelo de Rutherford en 3º de ESO, el modelo de Bohr en 4º de ESO y 1º de Bachillerato y el modelo cuántico en 2º de Bachillerato (Solbes *et al.*, 2010). Las actividades propuestas a continuación introducen todos los modelos atómicos con el fin de proporcionar a los alumnos una visión global sobre su evolución, indicando el posterior desarrollo más detallado de cada modelo en el correspondiente nivel educativo. Asimismo, se considera que las actividades son adecuadas al nivel cognitivo formal inicial en el que se encuentran los alumnos de 4º de ESO.

El objetivo de la transposición didáctica desarrollada en el presente apartado es combatir la imagen positivista y acumulativa de la ciencia. El análisis de las limitaciones y los avances

proporcionados por cada modelo atómico se lleva a cabo con el fin de combatir la idea de que un modelo está reemplazado por otro si este primero no aporta todas las explicaciones necesarias sobre los hechos científicos.

El método empleado para llevar a cabo la transposición es el Aula Invertida (Flipped Classroom). Este método es un enfoque pedagógico que mueve el contenido didáctico del aula a casa, utilizando el tiempo de clase para actividades generadoras de interés y resolución de problemas dirigidas por el docente. Por ello, los alumnos se organizarán en cinco grupos de trabajo y deberán investigar, utilizando artículos de investigación, libros de texto o el internet, los cinco modelos atómicos. Cada grupo deberá rellenar el apartado correspondiente a su modelo atómico, tal y como viene descrito en el Anexo 13 (Esquema 1 y Tabla 3). Este proceso se debe completar en casa. Tras haber realizado la búsqueda de información, en el aula se llevará a cabo una puesta en común de los resultados de investigación, rellenando todos los apartados de la tabla de los modelos atómicos. Asimismo, se propone un debate en el que se discutirán las limitaciones y los avances de cada modelo atómico. Además de representar un reto que motiva a los alumnos, el Aula Invertida también les proporciona autonomía y les ayuda a tomar más posesión de su aprendizaje.

Para finalizar se organizará una actividad de grupo interactivo. Los alumnos serán divididos en cinco grupos. Los grupos se formarán de tal manera que un alumno de cada grupo de trabajo inicial se encuentre en el grupo interactivo, es decir cada grupo será constituido por expertos en cada modelo atómico. Las cinco mesas de trabajo tendrán cuatro preguntas relacionadas con los modelos atómicos. Cada grupo interactivo tendrá 12 minutos para responder las preguntas de cada mesa de trabajo, rotando para poder trabajar en todas las mesas. Esta actividad representa una manera divertida de evaluar el aprendizaje significativo de los modelos atómicos.

3. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE CAMBIO

A continuación, se exponen las conclusiones más relevantes del presente trabajo, teniendo en cuenta los objetivos inicialmente planteados, el desarrollo de cada tema y los resultados esperados.

La presencia de la HDC en el currículo LOE de ESO y Bachillerato se limita a un número reducido de contenidos, teniendo más protagonismo en los niveles educativos superiores. Sin embargo, la introducción de esta en el proceso de enseñanza-aprendizaje cuenta con un respaldo curricular en forma de contenidos, criterios de evaluación y competencias. Es por ello que el profesorado debe hacer una revisión curricular de la HDC para obtener una imagen completa de su papel en todo el proceso de enseñanza-aprendizaje.

El tratamiento de la HDC en los libros de texto representa una de las fuentes de problemas de aprendizaje de los alumnos y de las visiones distorsionadas que estos tienen sobre la ciencia. En general, la HDC no tiene un papel destacado como herramienta didáctica en estos manuales. Además, existe una fuerte incongruencia entre la HDC descrita en los libros de texto y la historia presentada por los historiadores en los trabajos de investigación y los contenidos se describen de una forma descontextualizada, con errores conceptuales e inexactitudes. De esta manera, los libros de texto presentan una Química: individualista (con Lavoisier como padre fundador de la disciplina); ahistórica y aproblemática; empirista (enfatizando la verdad absoluta de la experimentación); y sin considerar el papel de las mujeres ni el contexto social, económico e histórico de la evolución del conocimiento científico.

Los problemas de aprendizaje de los alumnos se deben, principalmente, a su manera de pensar y razonar; a la forma en la cual se lleva a cabo el proceso de enseñanza-aprendizaje en el aula; y a la naturaleza abstracta de los conceptos científicos. Algunos fenómenos ocurren de manera habitual en la vida cotidiana y por ello el alumnado construye sus propias ideas sobre estos fenómenos de la Química. Las ideas previas de los alumnos se basan, principalmente, en la proyección directa de sus sentidos, en la que el mundo macroscópico se entiende de igual manera que el microscópico, solo que este último es mucho más pequeño. Asimismo, las visiones distorsionadas del alumnado sobre la ciencia se derivan del proceso de instrucción presente en el aula.

A tal efecto, se ha propuesto combatir las ideas previas del alumnado mediante el empleo de una enseñanza constructivista basada en el aprendizaje significativo. Se construyen relaciones a partir de las ideas previas de los alumnos, siendo ellos los participantes activos y el docente el guía de este proceso. Esta propuesta, en combinación con otras estrategias didácticas, puede mejorar significativamente el proceso de enseñanza-aprendizaje de la materia de Química en la enseñanza secundaria y contribuirá a combatir la monotonía de las clases actuales de esta disciplina científica, que consisten principalmente de exposición de conceptos y resolución de ejercicios.

Desde un punto de vista actitudinal, el trabajo en grupos cooperativos aumentaría el interés de los alumnos en el tema a estudiar. Tal y como pude comprobar durante el periodo de prácticas, al inicio de la clase los alumnos presentaban poco interés en el tema debido a la monotonía de la clase, pero al realizar las actividades en grupo su interés aumentaba y participaban activamente. Por ello, la misma actitud se esperaría en el caso de las actividades planteadas en la presente memoria, considerando que la mayoría de los trabajos se llevan a cabo en grupos cooperativos. El trabajo en grupo también es la fuente de desarrollo de competencias sociales como la convivencia, el respeto, la tolerancia y la solidaridad.

Es necesario potenciar las actividades prácticas de laboratorio para aumentar la motivación hacia el estudio de la Química. De esta manera se establece una conexión entre los contenidos didácticos y su aplicación práctica en la vida cotidiana, con el fin de descubrir la necesidad de estudiar Química y hacen posible que el alumno adquiera las destrezas técnicas necesarias para alcanzar los objetivos de la ESO.

El estudio de los contenidos didácticos desde una perspectiva histórica tiene una implicación social. Los alumnos no solo analizan los datos históricos sino también el contexto social y económico de los científicos y la evolución de la Química. Interactúan con la sociedad, la política, la economía y desarrollan un sentido de pertenencia a una comunidad. Analizan las aportaciones de los científicos, su dependencia de la comunidad científica para entender que la Química no se desarrolló solo con la ayuda de genios aislados, favoreciendo así la reestructuración de la visión sobre la ciencia.

Para evitar la generación de una visión estática del conocimiento científico, los materiales didácticos deberían proceder de los trabajos de investigación de los historiadores científicos y estar en línea con la didáctica de la ciencia. El docente debería promover la reflexión crítica

para analizar las cuestiones históricas consideradas. Asimismo, la introducción de la HDC en la enseñanza de la Química utilizando las actividades previamente descritas requiere un tiempo extra por parte del profesorado, para preparar adecuadamente los materiales didácticos necesarios, conocer bien la historia de los conceptos químicos para poder proporcionar las explicaciones requeridas y la contextualización.

Se espera que las actividades planteadas en este Trabajo Fin de Master produzcan un cambio conceptual en los alumnos en relación con: (a) el conocimiento científico, que dejará de ser considerado como una verdad absoluta, para entenderlo como el resultado de un proceso de evolución influenciado por el contexto social e histórico y sujeto a la reflexión crítica; (b) los científicos, que forman parte de una comunidad científica y están sujetos constantemente a un análisis y certificación de los resultados; (d) el método científico, ya que no existe un único método para producir el conocimiento científico, sino que todo depende del contexto y la metodología empleada; (e) la ciencia, que no es objetiva, impersonal y libre de problemas, sino que está en una estricta relación con la sociedad y la tecnología.

Como propuesta de cambio se plantea la aplicación de las transposiciones didácticas en el aula, así como la evaluación de los resultados mediante el análisis del cambio conceptual producido en los alumnos y la retroalimentación proporcionada por el alumnado. De esta manera se analizaría la eficacia de la transposición didáctica en la adquisición de los objetivos planteados inicialmente. En el caso en el que los resultados fueran favorables, se propone la aplicación de esta estrategia en otras áreas curriculares.

En esta línea, las recomendaciones para futuros estudios serían analizar el currículo legislativo de otras comunidades autónomas, para tener una imagen global de la HDC en la enseñanza de la Física y Química; analizar varios libros de texto de editoriales distintos para estudiar el tratamiento de la historia de la Química; plantear transposiciones didácticas para otros contenidos didácticos, tanto de ESO como de Bachillerato.

Tras el análisis de la estructura curricular y los contenidos didácticos para cada nivel educativo, podríamos destacar que el orden de introducción de los contenidos didácticos no es acorde a las necesidades de los alumnos para adquirir un aprendizaje significativo. Por ejemplo, el estudio de los modelos atómicos se lleva a cabo tras la introducción del enlace químico. Los alumnos necesitan la información proporcionada por los modelos atómicos para la compresión adecuada de los enlaces químicos. Como resultado de no disponer de los recursos necesarios,

el alumnado desarrolla problemas de aprendizaje. Por este motivo, se propone para un futuro estudio una revisión curricular de los contenidos didácticos y una propuesta de reorganización en base a las dificultades de aprendizaje y a las necesidades de los alumnos observadas en el aula, para una secuenciación de los contenidos que facilite el aprendizaje significativo.

Desde un punto de vista personal y profesional, el presente trabajo ha representado una manera de enriquecer mis conocimientos sobre didáctica de la ciencia. Además, al ser alumna de una enseñanza tradicional, en la mayor parte, la historia de la Química no ha tenido un papel destacado en mi formación académica. Por ello, el trabajo de investigación llevado a cabo me ha proporcionado con una información histórica más detallada sobre diversos conceptos químicos. Asimismo, ha representado una manera de ganar experiencia y conocimiento para mi formación docente, en temas como la HDC, el currículo legislativo, las metodologías innovadoras, los importantes problemas de aprendizaje de los alumnos.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abd-El-Khalick, F. (2013). Teaching with and about Nature of Science, and science teacher knowledge domains. *Science & Education*, *22*(9), 2087-2107. https://doi.org/10.1007/s11191-012-9520-2

Abd-El-Khalick, F. y Lederman, G. (2000). The influence of History of Science courses on students' views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, *37*(10), 1057-1095.

Agudelo, C., Marzábal, A. y Izquierdo, M. (2009). Distintas narrativas para un mismo contenido: la Tabla Periódica en los libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias, Número Extra: Ejemplar dedicado al VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*, 2885-2888.

Ahtee, M. y Varjola, I. (1998). Students' understanding of chemical reaction. *International Journal of Science Education*, *20*(3), 305-316.

Álvarez, E. y Manzano, D. (2018). Propuesta didáctica para el empleo de la Historia de la Ciencia en la enseñanza del primer principio de la termodinámica en educación secundaria. *Revista de Educación de la Universidad de Granada*, *25*, 9-28. https://doi.org/10.30827/reugra.v25i0.85

Asimov, I. (1985). *Breve historia de la Química*. Madrid: Alianza Editorial.

Ávila, L. (2011). *Química: Historia, Filosofía y Educación*. Universidad Pedagógica Nacional.

Bello, S. y Herrera, A. (2007). ¿Qué piensan los estudiantes de química sobre el enlace químico? *Revista Cubana de Química*, *XIX*(2), 71-73.

Bergqvist, A., Drechsler, M., De Jong, O. y Rundgren, S. (2013). Representations of chemical bonding models in school textbooks-help or hindrance for understanding? *Chemistry Education Research and Practice*, *14*(4), 589-606.

Bertomeu-Sánchez, J. (2006). La revolución química: entre la historia y la memoria. *DYNAMIS. Acta Hispanica ad Medicinae Scientiarumque Historiam Illustrandam*, *26*, 307-322.

Bertomeu-Sánchez, J., Jensen, W., Seeman, J., House, M., Talanquer, J. y Chamizo, J. (2011). *Química: Historia, filosofía y educación*. Universidad Pedagógica Nacional.

Bertomeu-Sánchez, J. y García, A. (2006). Visiones de la revolución química (1794-1943): Entre la historia y la memoria. *Cuadernos Dieciochistas*, *7*, 113-140.

Bertomeu, J., Moreno, L., Muñoz, R., y Pariente, L. (2017). Historia y enseñanza de las ciencias: nuevas perspectivas y oportunidades para la colaboración. *Enseñanza de las Ciencias, Número Extra: X Congreso internacional sobre investigación en Didáctica de las Ciencias*, 3779-3783.

Bertomeu, J. y García-Belmar, A. (2008). "La historia de la química: Pequeña guía para navegantes. Parte I: Viejas y nuevas tendencias." *Anales de la Real Sociedad Espñola de Química*. 104*(1)*. Recuperado de http://hdl.handle.net/10045/24356

Boo, H. (1998). Students´ understandings of chemical bonds and the energetics of chemical reactions. *Journal of Research in Science Teaching, 35*(5), 569-581.

Briggs, H. y Holding, B. (1986). *Aspects of secondary students' understanding of elementary ideas in chemistry*. Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.

Bueso, A., Furió, C. y Mans, C. (1988). Interpretación de las reacciones de oxidación-reducción por los estudiantes. Primeros resultados. *Enseñanza de las Ciencias, 6*(3), 244-250.

Caamaño, A. (2001). La enseñanza de la química en el inicio del nuevo siglo. Una perspectiva desde España. *Educación Química, 12*, 7. https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2001.1.66360

Caamaño, A. (2006). Repensar el currículum de química en el bachillerato. *Educación Química, 17*(2).

Camacho, J. y Quintanilla, M. (2008). Resolución de problemas científicos desde la Historia de la Ciencia: retos y desafíos para promover competencias cognitivo lingüísticas en la química escolar. *Ciencia & Educación, 14*(2), 197-212.

Camaño, A., Mayos, C., Maestre, G. y Ventura, T. (1983). Consideraciones cobre algunos errores conceptuales en el aprendizaje de la química en el Bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias, 1*(3), 198-200.

Campanario, J. (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.

Campanario, J. y Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias, 17*(2), 172-192.

Carboneli, F. y Furio, C. (1987). Opiniones de los adolescentes respecto del cambio sustancial en las reacciones químicas. *Enseñanza de las Ciencias, 1987*(5), 1.

Caruso, M., Castro, M., Domínguez, J., García-Rodeja, E., Iturralde, C., Rochas, A. y Scandroli, N. (1998). Construcción del concepto de reacción química. *Educación Química, 9*(3).

Carvalho, A. y Castro, R. (1992). La Historia de la Ciencia como herramienta para la enseñanza de Física en secundaria: un ejemplo en calor y temperatura. *Enseñanza de las Ciencias, 10*(3), 289-294.

Casado, G. y Raviolo, A. (2005). Las dificultades de los alumnos al relacionar distintos niveles de representación de una reacción química. *Universitas Scientiarum, 10*, 35-43.

Castillo, H. y Arteaga, . E. (2014). Historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias: el caso de la reacción química. *Revista Brasileira de Historia de Ciencia, 7*(2), 298-313.

Castillo, O. (2015). Historia de la evolución de la tabla periódica de los elementos químicos: un ejemplo más de la aplicación del método científico. *Anales de Química, 111*(2), 109-117.

Castro, E., Gómez, P. y Llavona, L. (2012). La Historia de la Ciencia como recurso didáctico en Física y Química desde un punto de vista constructivista. *Tiempo y Sociedad, 8*, 68-88.

Castro, J. (2008). La obra de Lavoisier como un modelo para la historia de las ciencias. *Tecné, Episteme y Didaxis, 23*.

Cid, R. y Dasilva, 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.

Contreras, R. (2019). Tabla periódica de los elementos químicos: cineto cincuenta años de historia. *Avances en Química, 14*(1), 41-60.

Córdova, F. (s. f.). El número de Avogadro. Recuperado de https://www.mhe.es/bachillerato/fisica_quimica/8448150058/archivos/media/esp/unidad_10/Avogadro.pdf

Cuéllar, L., Gallego, R. y Pérez, R. (2008a). El modelo atómico de E. Rutherford. Del saber científico al conocimiento escolar. *Enseñanza de las Ciencias, 26*(1), 43-52.

Cuéllar, L., Quintanilla, M. y Camacho, J. (2008b). Introducción de la historia de la química en la formación docente. Aportes para un debate de teoría y campo. *Nova Època, 1*(2), 109-117. https://doi.org/10.2436/20.2006.01.64

Cuéllar, L., Quintanilla, M. y Marzábal, A. (2010). La importancia de la Historia de la Química en la enseñanza escolar: análisis del pensamiento y elaboración de material didáctico de profesores en formación. *Ciencia & Educación, 16*(2), 277-291.

Dana, T. (1990). The history and philosophy of science: What does it mean for science clasrooms? *The Australian Science Teachers Journal, 36*(2), 1-26.

De Jong, O. y Taber, K. (2007). *Handbook of research on science education (p. 631-652).* Lawrence Erlbaum Associates.

De La Fuente, A., Perrotta, M., Dima, G., Gutiérrez, E., Capuano, V. y Follari, B. (2003). Estructura atómica: análisis y estudio de las ideas de los estudiantes (8º de EGB). *Enseñanza de las Ciencias, 21*(1), 123-134.

De la Mata, C., Álvarez, J. y Alda, E. (2011). Ideas alternativas en las reacciones químicas. *Revista Didácticas Específicas*(5).

De Posada, J. (1999). Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico antes, durante y después de la enseñanza formal. Problemas de aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias, 17*(2), 227-245.

Doménech, J., Savall, F. y Martínez, 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.

Erduran, S. (2001). Philosophy of chemistry: an emerging field with implications for chemistry education. *Science & Education, 10*, 581-593.

Escobar, H. y Benavides, L. (2015). Objetos virtuales de aprendizaje y un laboratorio virtual de química en la enseñanza de la ley de conservación de la masa. *Revista Historia de la Educación Colombiana, 18*(18), 169-200. https://doi.org/10.22267/rhec.151818.34

Espinoza, R. (2004). *Historia de la Química enfocada en el átomo y el enlace*. Merida: Smart Service C.A.

Franco-Mariscal, A. y Oliva-Martinez, J. M. . (2013). Dificultades de comprensión de nociones relativas a la clasificación periódica de los elementos químicos: la opinión de profesores e investigadores en educación química. *Revista Científica, 2*(16), 53-71. https://doi.org/10.14483/23448350.4023

Furió-Gómez, C., Solbes, J. y Furió-Mas, C. (2007). La historia del primer principio de la termodinámica y sus implicaciones didácticas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 4*(3), 461-475.

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

Furió, C., Azcona, R. y Guisasola, J. (2006). Enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y de mol basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. *Enseñanza de las Ciencias, 24*(1), 43-58.

Furió, C. y Dominguez, M. (2007). Deficiencias en la enseñanza habitual de los conceptos macroscópicos de sustancia y de cambio químico. *Revista de Educación en Ciencias, 8*(2), 84-91.

Furió, C. y Padilla, K. (2003). La evolución histórica de los conceptos científicos como prerequisito para comprender su significado actual: el caso de la "cantidad de sustancia" y el "mol". *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, 17*, 55-74.

Furió, Carlos y Furió, Cristina. (2000). Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Educación Química, 11*(3).

Gabel, D. y Bunce, D. (1994a). *Handbook of research in science teaching and learning* Macmillan Publishing Company.

Gabel, D. y Bunce, D. (1994b). *Handbook of research on science teaching and learning. Research on problem solving: Chemistry*. MacMillan Publishing Company.

Galache, M., Camacho, E. y Rodríguez, A. (1991). Origen histórico del término ion. *Enseñanza de las Ciencias, 9*(2), 187-192.

Gallego, R., Pérez, R., Uribe, M., Cuéllar, L. y Amador, R. (2004). El concepto de valencia: su construcción histórica y epistemológica y la importancia de su inclusión en la enseñanza. *Ciencia & Educación, 10*(3), 571-583.

García, A. y Garritz, A. (2006). Desarrollo de una unidad didáctica: el estudio del enlace químico en el Bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias, 24*(1), 111-124.

García, G. y Machado, C. (2018). *Caracterización del tema "Cambio Químico" en libros de texto de ciclo básico de nivel secundario* II Workshop de Investigación en Didáctica de las Ciencias Naturales y Experimentales, Santa Fe.

García, J., Pizarro, A., Perera, F., Martín, M. y Bacas, P. (1990). Ideas de los alumnos acerca del mol. Estudio curricular. *Enseñanza de las Ciencias, 8*(2), 111-119.

Garritz, A., Sosa, P., Hernández-Millán, López-Villa, N., Nieto-Calleja,E., Reyes-Cárdenas, F. y Robles, C. (2013). Una secuencia de enseñanza/aprendizaje para los conceptos de sustancia y reacción química con base en la Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología. *Educación Química, 24*(4), 439-450.

Geoffroy, E. (1718). *Table des différents rapports observes en chimie entre differentes substances*. Recuperado de: https://www.uv.es/~bertomeu/material/clasico/.

Gómez, M., Pozo, J., Sanz, A. y Limón, M. (1992). La estructura de los conocimientos previos en Química:una propuesta de núcleos conceptuales. *Investigación en la Escuela*, 18.

González-Felipe, M., Aguirre-Pérez, C., Cortes-Simarro, J., Fernández, R. y Vázquez, A. M. . (2017a). Estudio del tratamiento del enlace químico en los libros de texto españoles.

Revista Electrónica de Investigación Educativa, 19(3), 60-72. https://doi.org/10.24320/redie.2017.19.3.1184

González-Felipe, M., Aguirre-Pérez, C., Fernández-Cézar, R. y Vázquez-Moliní, A. (2017b). Concepciones alternativas de los alumnos en Educación Secundaria sobre el enlace químico. *Revista de Didácticas Específicas*, 18, 26-44.

Grosslight, L., Unger, C. y Jay, E. (1991). Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching, 28*(9), 799-822.

Hawthorne, R. (1973). The mole and Avogadro's number. *Journal of Chemical Education, 50*(4), 282-284.

Hernández, M. y Prieto, J. (2000). Un currículo para el estudio de la Historia de la Ciencia en secundaria (la experiencia del seminario Orotava de Historia de la Ciencia). *Enseñanza de las Ciencias, 18*(1), 105-112.

Hesse, J. y Anderson, W. (1992). Students' conceptions of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching, 29*(3), 277-299.

Hubisz, J. (2001). Report on a Study of Middle School Physical Science Textbooks. *The Physics Teacher, 39*, 304-309.

Izquierdo, M., Martínez, Á., Gatica, M. y Adúriz-Bravo, A. (2016). *Historia, filosofía y didáctica de las ciencias: aportes para la formación del profesorado de ciencias*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. https://doi.org/10.14483/9789588972282

Izquierdo, M., Quintanilla, M., Vallverdú, J. y Merino, C. (2014). Una nueva reflexión sobre la historia y filosofía de las ciencias y la enseñanza de las ciencias. En M. Quintanilla Gatica, Daza Rosales, S., Cabrera Castillo, H. G. (Ed.), *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una 'nueva aula de ciencias' promotora de ciudadanía y valores* (p. 30-51). Bellaterra.

Justi, R. y Gilbert, J. (2002). *Chemical education: towards research-based practice* (p. 47-68). Kluwer Academic Press.

Khang, G. y Sai, C. (1987). Secondary school students' difficulties in learning the 'mole concept' - a preliminary study in Singapore. *Singapore Journal of Education, 8*(1).

Labarca, M. y Lastiri, M. (2010). Las naturalezas del enlace químico. *Epistemología e Historia de la Ciencia, 16*, 308-314.

Landau, L. y Lastres, L. (1996). Cambios químicos y conservación de la masa...¿Está todo claro? *Enseñanza de las Ciencias, 14*(2), 171-174.

Lavoisier, A. (1798). *Tratado elemental de Química.* Imprenta Real.

Lawrence, C. (2009). Jan Golinski, Science as Public Culture: Chemistry and Enlightenment in Britain. *The British Journal for the History of Science, 26*(1), 93-93. https://doi.org/10.1017/S0007087400030302

Lazo, L. y Zúñiga, N. (2013). Estudio sobre las concepciones alternativas de enlace químico en alumnos de enseñanza media y enseñanza universitaria. IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Girona.

Lehman, J., Koran, J. y Koran, M. (1984). Interaction of learner characteristics with learning from three models of the periodic table. *Journal of Research in Science Teaching, 21*(9), 885-893. https://doi.org/10.1002/tea.3660210904

Levy, T., Mamlok-Noaman, R., Hofstein, A. y Kronik, L. (2008). A new "bottom-up" framework for teaching chemical bonding. *Journal of Chemical Education, 85*(12), 1680-1685.

Linares, R. . (2004). *Elemento, átomo y sustancia simple. Una reflexión a partir de la enseñanza de la Tabla Periódica en los cursos generales de Química*. Universidad de Barcelona.

Linares, R. . (2005). Elemento, átomo y sustancia simple. Diferentes lecturas de la Tabla Periódica. *Enseñanza de las Ciencias,* Número Extra:VII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias.

Lombardi, O. (1997). La pertinencia de la historia en la enseñanza de ciencias: argumentos y contraargumentos. *Enseñanza de las Ciencias, 15*(3), 343-349.

Luxford, C. y Bretz, S. (2013). Moving beyond definitions: what student-generated models reveal about their understanding of covalent bonding and ionic bonding. *Chemistry Education Research & Practice, 14*(2), 214-222.

Manzano, R. (2009). El congreso de Karlsruhe: paso definitivo hacia la química moderna. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 6*. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2009.v6.i3.06

Martín, G. (2004). *La química de Lavoisier*. Fundación Orotava

Matthews, M. (2014). *International Handbook of research in History, Philosophy and Science Teaching* (Vol. 1-3). Springer.

McComas, W. (2008). Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science & Education, 17*(2), 249-263. https://doi.org/10.1007/s11191-007-9081-y

Méndez, D. (2013). ¿Cómo afrontan los alumnos en secundaria las reacciones químicas? *Aula de Encuentro*, 15, 129-137.

Moreno, J., Gallego, R. y Pérez, R. (2010). El modelo semicuántico de Bohr en los libros de texto. *Ciencia & Educación, 16*(3), 611-629.

Moreno, L. y Calvo , M. (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). *Educación Química*, 21, 45-53.

Moreno, L. y Calvo, M. (2017). La historia de la Química en el currículo de ESO y de bachillerato (LOE). Una revisión intedisciplinar para la investigación didáctica. *Enseñanza de las Ciencias, 35*(2), 147-160.

Moreno, L. y Calvo, M. (2018). Las narrativas históricas en los libros de texto de ESO y Bachillerato. Análisis de dos mitos fundacionales de la química. *Anales de Química, 114*(3), 172-180.

Moreno, L. y Calvo, M. (2019). ¿Cómo presentan la historia de la química los libros de texto de Educación Secundaria? Un análisis desde la didáctica y los estudios históricos de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 16*(1). https://doi.org/10.25267/RevEurekaensendivulgcienc.2019.v16.i1.1101

Mulet, L. y Hing, R. (2008). La historia de la química y el desarrollo de la sociedad. *Tecnología Química, XXVIII*(3).

Muñoz, R. y Bertomeu-Sánchez, J. (2003). La Historia de la Ciencia en los libros de texto: La(s) Hipótesis de Avogadro. *Enseñanza de las Ciencias, 21*(1), 147-159.

Niaz, M. (2005). ¿Por qué los textos de química general no cambian y siguen una 'retórica de conclusiones'? *Educación Química, 16*(3). https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2005.3.66104

Niaz, M. (2016). *Chemistry education and contributions from History and Philosophy of Science*. Springer.

Nielsen, H. y Thomsen, V. (1990). History and philosophy of science in physics education. *International Journal of Science and Mathematics Education, 12*(3), 308-316.

Novack, J. (1988). *Aprender a aprender*. Martinez Roca.

Novick, S. y Menis, J. (1976). A study of student perceptions of the mole concept. *Journal of Chemical Education, 53*(11).

Occelli, M. (2013). Los libros de texto de ciencias como objeto de investigación: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias, 31*(2), 133-152.

Othman, J., Treagust, D. y Chandrasegaran, A. (2008). An investigation into the relationship between students' conceptions of the particulate nature of matter and their understanding of chemical bonding. *International Journal of Science Education, 30*(11), 1531-1550.

Ozmen, H. y Alipasa, A. (2003). Students' difficulties in understanding of the conservation of matter in open and closed-system chemical reactions. *Chemistry Education:Research and Practice, 4*(3), 279-209.

Padilla, K., Furió, C. y Azcona, R. (2005). Las visiones deformadas de la ciencia en la enseñanza universitaria de los conceptos de cantidad de sustancia y mol. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra: VII Congreso.

Páez, Y. Rodríguez, M. y Niaz, M. (2004). Los modelos atómicos desde la perspectiva de la historia y filosofía de la ciencia: un análisis de la imagen reflejada por los textos de química de Bachillerato. *Investigación y Postgrado, 19*(1).

Palmer, B. y Treagust, D. (1996). Physical and chemical change in textbooks: an initial view. *Research in Science Education, 26*(1), 129-140.

Penagos, W. y Lozano, D. (2005). De las investigaciones en preconcepciones sobre mol y cantidad de sustancia, hacia el diseño curricular en química. *Revista Educación y Pedagogía, XVII*(43).

Pérez, J., Pérez, M., Calatayud, M., García-Lopera, R. y Sabater, J. (2017). Student's misconceptions on chmical bonding: a comparative study between high scholl and first year university students. *Asian Journal of Education and e-Learning, 05*(1).

Pozo, J. (1991). *Procesos cognitivos en la compresión de la ciencia. Las ideas de los adolescentes sobre la química*. Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia: C.I.D.E.

Quesada, P., Valcárel, M. y Sánchez, G. (2005). Relación entre el modelo de atomo de los estudiantes (16-17 años) y los diferentes modelos atómicos presentados en la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra: VII Congreso.

Quílez, J. y Sanjosé, V. (1996). El principio de Le Chatelier a través d ela historia y su formulación didáctica en la enseñanza del equilibrio químico. *Enseñanza de las Ciencias, 14*(3), 381-390.

Quintanilla, M., Daza, S. y Cabrera, H. (2014). *Historia y filosofía de la ciencia. Aportes para una 'nueva aula de ciencias', promotora de ciudadanía y valores*. Editorial Bellaterra Ltda.

Raviolo, A., Garritz, A. y Sosa, P. (2011). Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 8*(3), 240-254.

Riboldi, L., Pliego, Ó. y Odetti, H. (2004). El enlace químico: una conceptualización poco comprendida. *Enseñanza de las Ciencias, 22*(2), 195-212.

Rodríguez, M. y Niaz, M. (2002). El experimento de Rutherford en el contexto de la historia y filosofía de la ciencia y sus implicaciones para los textos de Física. *Enseñanza de la Física, 15*(1), 5-12.

Rodríguez, M. y Niaz, M. (2004). A reconstruction of structure of the atom and its implications for general physics textbooks: a history and philosophy of science perscpective. *Journal of Science Education and Technology, 13*(3).

Sanchez, G. y Valcarcel, M. (2003). Los modelos en la enseñanza de la química: el concepto de sustancia pura. *Alambique, 35*, 45-52.

Sánchez, J. y Oñorbe, A. (1992). La masa no se crea ni se destruye ¿estáis seguros? *Enseñanza de las Ciencias, 10*(2), 165-171.

Schmidt, H., Baumgärtner, T. y Eybe, H. (2003). Changing ideas about the periodic table of elements and students' alternative concepts of isotopes and allotropes. *Journal of Research in Science Teaching, 40*(3), 257-277. https://doi.org/10.1002/tea.10076

Schmidt, H., Kaufmann, B. y Treagust, D. (2009). Students' understanding of boiling points and intermolecular forces. *Chemistry Education Research & Practice, 10*(4), 265-272.

Schollum, B. (1981). *Chemical change: A working paper of the learning in science project*. Universidad de Waikato.

Schwab, J. y Brandwein, P. (1962). The teaching of science as enquiry. En J. S. y. P. Joseph, F. Brandwein (Ed.), *The teaching of science* (p. 3-103). Cambridge: Harvard University Press. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00692064

Solaz-Portolés, J. (2010). La naturaleza de la ciencia y los libros de texto de ciencias: una revisión. *Educación XXI, 13*(1), 65-80.

Solaz-Portolés, J. y Moreno-Cabo, M. (1998). Enseñanza/aprendizaje de la ciencia versus Historia de la Ciencia. *Educación Química, 9*(2).

Solbes, J., Calatayud, M., Climent, J. y Navarro, J. (1997). Errores conceptuales en los modelos atómicos cuánticos. *Enseñanza de las Ciencias, 5*(3), 189-195.

Solbes, J., Silvestre, V. y Furió, C. (2010). El desarrollo histórico de los modelos de átomo y enlace químico y sus implicaciones didácticas. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, 24*, 83-105.

Solbes, J. y Sinarcas, V. (2009). Utilizando la Historia de la Ciencia en la enseñanza de los conceptos claves de la Física cuántica. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, 23*, 123-151.

Solbes, J. y Traver, M. (1996). La utilización de la Historia de las Ciencias en la enseñanza de la Física y la Química. *Enseñanza de las Ciencias, 14*(1), 103-112.

Solbes, J. y Traver, M. (2001). Resultados obtenidos introduciendo Historia de la Ciencia en las clases de Física y Química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las Ciencias, 19*(1), 151-162.

Solomon, J., Duveeen, J. y Scot, L. (1992). Teaching about the nature of science through history: Action research in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching, 29*, 409-421.

Staver, J. y Lumpe, A. (1993). A content analysis of the presentation of the mole concept in chemistry textbooks. *Journal of Research in Science Teaching, 30*(4), 321-337.

Stavy, R. (1990). Pupils' problems in understanding conservation of matter. *International Journal of Science Education, 12*(5), 501-512. https://doi.org/10.1080/0950069900120504

Strömdahl, H., Tullberg, A. y Lybeck, L. (1994). The qualitatively different conceptions of 1 mol. *International Journal of Scence and Mathematics Education, 16*(1), 17-26.

Taber, K. (2001). Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. *Chemistry Education:Research and Practice in Europe, 2*(2), 123-158.

Taber, K. (2002). *Chemical misconceptions:prevention, diagnosis and cure* (Volume I: Theoretical background). Royal Society of Chemistry.

Taber, K., Tsaparlis, G. y Nakiboglu, C. (2012). Student conceptions of ionic bonding: patterns of thinking across three European contexts. *International Journal of Science Education, 34*(18), 2843-2873.

Talanquer, V. y Pollard, J. (2010). Let's teach how we think instead of what we know. *Chemistry Education Research & Practice, 11*, 74-83.

Tarhan, L., Ayar-Kayali, H., Urek, R. y Acar, B. (2008). Problem–based learning in 9th grade chemistry class: Intermolecular Forces. *Research in Science Education, 38*(3), 285-300.

Tejada, C., Gattas, C. y Vilabona, Á. (2013). Concepciones alternativas y errores conceptuales de estudiantes sobre modelos átomicos en química. *Revista ENTORNOS, 26*(2), 267-274.

Tullberg, A., Strömdahl, H. y Lybeck, L. (1994). Students' conceptions of 1 mol and educators' conceptions of how they teach 'the mole'. *International Journal of Science and Mathematics Education, 16*(2), 145-156.

Uribe, M. y Gallego., R. . (2005). Enseñanza de los modelos atómicos en programas de ingeniería. *Educación y Educadores, 8*, 67-76.

Vázquez, A. y Pérez, C. (2009). Una propuesta didáctica para la utilización de la historia del sistema periodico en el aula. *Enseñanza de las Ciencias*, 831-838.

Vladusic, R., Bucat, R. y Ozic, M. (2016). Understanding ionic bonding- a scan across the Croatian education system. *Chemistry Education Research & Practice, 17*(4), 685-699.

Yarroch, W. (1985). Student understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching, 22*(5), 449-459.

5. ANEXOS

Anexo de Legislación

Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Jefatura del Estado. Boletín Oficial del Estado (BOE), número 106, de 4 de mayo de 2006. Referencia BOE-A-2006-7899.

Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria. Ministerio de Educación y Ciencia. Boletín Oficial del Estado (BOE), número 5, de 5 de enero de 2007. Referencia BOE-A-2007-238.

Real Decreto 1467/2007, de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del bachllerato y se fijan sus enseñanzas mínimas. Ministerio de Educación y Ciencia. Boletín Oficial del Estado (BOE), número 266, de 6 de noviembre de 2007.

Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Boletín Oficial del Estado (BOE), número 3, de 3 de enero de 2015. Referencia BOE-A-2015-37.

Decreto 48/2015, de 14 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 (BOCM), número 118, de 20 de mayo de 2015. Referencia BOCM-20150520-1.

Decreto 52/2015, de 21 de mayo, del Consejo de Gobierno, por el que se establece para la Comunidad de Madrid el currículo del Bachillerato. Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid (BOCM), número 120, de 22 de mayo de 2015. Referencia BOCM-20150522-3.

Orden 2200/2017, de 16 de junio, de la Conserjería 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 (BOCM), número 151, de 27 de junio de 2017. Referencia BOCM-20170627-15.

Anexo 1. Historia del sistema periódico de los elementos.

Desde los tiempos presocráticos, durante la Edad Media y hasta el Renacimiento los cuatro elementos tradicionales fueron tierra, agua, fuego y aire. A partir de esos momentos históricos y hasta la actualidad se ha llegado a un total de 118 elementos confirmados y organizados en el sistema periódico. Alrededor de 12 elementos químicos se conocían en la prehistoria, que fueron empleados en la correspondiente era histórica para la fabricación de tintes y pinturas, o para instrumentos de decoración y de caza. Un numero de veintiún elementos estaban descubiertos antes del siglo XIX, para ampliarse a 50 en el mismo siglo y añadir 30 elementos más en el siglo XX (Castillo, 2015).

En 1661 Boyle establece la definición del concepto de elemento químico como "*una sustancia que no puede descomponerse en otras más simples*" (Asimov, 1985, p. 119). En 1718, E. F. Geoffroy presentó a la Academia de Ciencias de Francia la primera organización de los elementos, acorde con las afinidades observadas entre varias sustancias. Este constituye el primer intento de organizar el estudio de la Química (Geoffroy, 1718). Posteriormente, en 1789, Lavoisier detalla en su Tratado Elemental de Química la demostración de que el agua no es un elemento químico debido al hecho de que puede descomponerse en oxígeno e hidrogeno. Además, Lavoisier también hizo una clasificación de las sustancias en cuatro grupos (Lavoisier, 1798).

Berzelius, en 1818, publicó una tabla de pesos atómicos bastante precisa. Para la organización de los pesos atómicos utilizó la masa del oxígeno y la del hidrogeno. La segunda revisión de la tabla que se llevó a cabo en 1826, presenta pesos atómicos altamente parecidos a los descritos en la actualidad. Asimismo, introdujo el símbolo químico para la representación de los elementos químicos, mediante el uso de la primera o las primeras dos letras del nombre en latín de los elementos (Castillo, 2015).

El descubrimiento de nuevos elementos químicos puso de manifiesto la similitud de sus propiedades. La organización de los elementos químicos en triadas ha sido llevada a cabo por Döbereiner en 1817. Los elementos químicos estaban organizados en función de la variación de propiedades, como reactividad y color. Además, la masa atómica del elemento químico central en la triada era similar a la media aritmética de las masas atómicas de los otros elementos. En el año 1850 existían ya 20 triadas (Castillo, 2015).

En ese momento existía una gran confusión sobre el significado de peso atómico, peso equivalente y peso molecular. Cada científico utilizaba el concepto que mejor se ajustaba a su situación. Asimismo, existían disputas, entre los científicos, sobre la

nomenclatura a emplear, el significado de valencia y estructura química. Por ello, tres científicos, Kekulé, Wurtz y Weltzien, organizaron el congreso de Karlsruhe en Alemania en 1860, que tuvo como objetivos principales la unificación de la nomenclatura química, la notación y los pesos atómicos. Participaron 127 químicos de 12 países en el congreso de Karlsruhe y, actualmente, sigue siendo considerado el pilar de la creación de la Química como ciencia moderna. Un resultado altamente importante fue la generación de la certeza que este tipo de reuniones entre científicos, donde se pueden difundir y transmitir ideas, resultados experimentales y teorías, representan un elemento clave para el desarrollo evolutivo de la ciencia (Manzano, 2009).

La organización de los elementos químicos sobre la superficie de un cilindro (Hélice Telúrica) fue propuesta por Chancourtois en 1862. El esquema era bastante complicado de construir y no recibió su reconocido valor en el momento. Los elementos químicos estaban organizados en función de los pesos atómicos en una línea diagonal. Los elementos químicos con propiedades similares estaban situados en la misma línea vertical. William Odling, en 1864, propuso otra clasificación en función de los pesos atómicos crecientes. Una mejora de esta clasificación fue la organización de los elementos químicos en grupos y subgrupos, dejando sitio para los elementos que no estaban descubiertos todavía, y tuvo como resultado la obtención de la periodicidad de las propiedades químicas. En el mismo año, J. Newlands organizó los elementos químicos por su peso atómico y los dispuso en columnas verticales constituidas por 7 elementos, siendo este el origen de la ley de las octavas. Observó que los elementos presentaban una variación regular y que en cada columna se disponían los elementos con propiedades similares (Castillo, 2015).

El químico alemán J. L. Meyer empezó a estudiar, en 1869, los volúmenes atómicos de los elementos. Publicó una mejora de su trabajo en el año 1970, en la que clasificaba los elementos químicos en base a las similitudes de las propiedades físicas, puntos de fusión y ebullición, volumen atómico (Castillo, 2015).

El trabajo de Meyer no ha recibido la importancia merecida por la publicación del trabajo de Mendeleiev en 1869. La impresión que le causó la discusión de Canizzaro en el Congreso de Karlsruhe, marcó el trabajo de Mendeleiev en los siguientes años. Nueve años después del congreso, Mendeleiev publicó su sistema periódico en la Revista de la Sociedad Química Rusa y, en 1871, publicó el trabajo "*Un sistema natural de los elementos y su uso para predecir las propiedades de elementos sin descubrir*" en el que predecía la existencia de elementos como el eka-aluminio, eka-silicio, eka-boro y eka-

manganeso (Manzano, 2009). Aunque la tabla de Mendeleiev tuvo una gran importancia en el desarrollo de la Química, con un gran impacto sobre la comunidad científica en ese momento, poco después se descubrieron elementos químicos que no tenían sitio en su tabla (Castillo, 2015).

A continuación, William Ramsay, en 1894, descubrió los gases inertes y añadió la columna correspondiente en la tabla, recibiendo el Premio Nobel para su contribución. Han existido muchas otras contribuciones de los científicos a la estructura y organización de la tabla periódica que han llevado a la forma actual de la tabla periódica, pero que debido al espacio restringido de la memoria no se pueden mencionar en su totalidad (Castillo, 2015). Como se puede observar de la descripción de su evolución, el sistema periódico tiene una historia rica y llena de momentos determinantes, siendo un concepto en el que el uso de la HDC tiene un papel importante en su aprendizaje significativo.

Anexo 2. Historia de Lavoisier y la Ley de conservación de masa.

La obra y la vida de Lavoisier es un tema muy desarrollado en numerosos trabajos de investigación realizados por los historiadores de la ciencia. Lavoisier hace parte de la transformación del conocimiento científico del siglo XVIII, transformación que fue el origen de la construcción de la Química como disciplina autónoma. En el contexto histórico en el que desarrolló su trabajo Lavoisier, se tienen que considerar también los cambios producidos por la Revolución Francesa, que pone de manifiesto la estrecha relación ciencia-sociedad (Castro, 2008).

La revolución química es un capitulo muy estudiado y analizado de la historia de la Química. Los acontecimientos históricos han empezado a ser descritos por los científicos de la época y posteriormente por los historiadores de ciencia del siglo XIX. La cantidad de trabajos relacionados con este periodo histórico en la evolución de la Química ha convertido la revolución química en el elemento fundamental para la construcción de la Química como disciplina. En general los mitos fundamentales sobre los cuales se construyó esta imagen son los siguientes: el papel de Lavoisier como padre fundador de la química, la síntesis y el análisis del agua y el descubrimiento del oxígeno como eventos determinantes, el uso de la balanza como instrumento de laboratorio (Bertomeu-Sánchez y García, 2006).

Sin embargo, la revolución química tuvo en su totalidad seis etapas y Lavoisier no es el único al que se le puede asignar la evolución científica. El primer paso de la revolución fue realizado por Hales en 1727 y representó la aceptación que el aire participaba en las reacciones químicas. A la escuela británica de los químicos Cavendish, Priestley y Black se debe la segunda etapa de la revolución, representada por la aceptación que el aire estaba formado por distintos componentes. Lavoisier fue el que aporto su contribución al tercer paso de la revolución. Él consideró que la expansión de los líquidos y los sólidos producía el estado gaseoso y se debía al calor. En 1771 Guyton demostró que, tras la calcinación de los metales en el aire, estos aumentaban su peso, representando el cuarto paso de la revolución, La contribución de Lavoisier aparece de nuevo en la quinta etapa. Describió que el oxígeno es el elemento clave en la formación de óxidos y ácidos. La última etapa ha sido representada por la construcción de un nuevo lenguaje científico en la Química. El objetivo de esta unificación y simplificación del lenguaje fue proporcionar a los lectores un método fácil y rápido para entender la composición de las

sustancias. Este paso ha sido el resultado de un trabajo compartido entre Guyton, Berthollet, Fourcroy y Lavoisier (Martín, 2004).

El avance científico llevado a cabo durante la revolución química del siglo XVIII estuvo influenciado por el desarrollo tecnológico. Lavoisier y otros científicos introdujeron nuevos instrumentos en los laboratorios, por ejemplo, aparatos de recogida de gases, bombas de vacío, termómetros. Estos instrumentos permitieron conseguir medidas reproducibles y fiables, que fueron utilizadas en los estudios como eje central para el desarrollo de las teorías (Martín, 2004).

Anexo 3. Historia del mol y el número de Avogadro.

El término "mol" fue usado por primera vez por los romanos para denotar las piedras pesadas que se usaban en la construcción de los rompeolas de los puertos. En cuanto a la química, fue el químico alemán August Wilhelm Hofmann el que introdujo el término mol en 1865 para indicar cualquier masa microscópica grande, en contraste con la masa molecular submiscroscópica. No obstante, la relación del "mol" con la medida de las masas en las reacciones químicas se debe a Ostwald. En 1900 el describió el "mol" como "*la masa en gramos de una sustancia numéricamente igual a su peso normal o peso molecular*" (Penagos y Lozano, 2005, p.5).

Las primeras medidas realizadas en química fueron la masa y el volumen, estableciéndose así las primeras leyes de la química como la ley de conservación de la masa. En 1808, Dalton introdujo la teoría atómico-molecular. En ese momento empezaron a interpretarse los fenómenos químicos en términos de átomos y moléculas. En 1811, el físico y químico Amedeo Avogadro enunció su hipótesis "*volúmenes iguales de gases, a las mismas condiciones de temperatura y presión, tienen igual número de partículas*". Esta no fue aceptada por los químicos de su tiempo. La hipótesis de Avogadro explica la ley de Gas-Lussac (1802), que establece relaciones entre número de partículas y volúmenes de gases, inexplicable por la teoría atómica de Dalton. Las investigaciones de Cannizzaro (1860) se apoyan en la hipótesis de Avogadro para determinar las fórmulas moleculares de compuestos gaseosos y las masas atómicas relativas de sus elementos.

Aunque el concepto de "mol" se relaciona con el número de Avogadro, no fue Avogadro quien calculó el número. En realidad, fue Jean Perrin en 1908 el que confirmó experimentalmente la existencia de las moléculas y el valor del número de Avogadro (Penagos y Lozano, 2005).

Finalmente, el "mol", como unidad en el Sistema Internacional de la magnitud cantidad de sustancia fue oficialmente definido por la IUPAP (International Union of Pure and Applied Physisc) en el año 1957 y por la IUPAC (International Union of Pure and Applied Cemistry) en 1967. En 1971 en la XIV Conferencia Internacional de Pesas y Medidas se estableció el "mol" como la séptima unidad básica del Sistema Internacional de unidades, siendo el "mol" la unidad de la magnitud cantidad de sustancia o cantidad química.

Anexo 4. Historia del enlace químico.

El estudio de la historia del concepto de enlace químico comenzó en la Antigüedad, cuando Mileto y Demócrito postulaban su teoría sobre la materia constituida por partículas diminutas (átomos). Esta teoría de los átomos iba en contra de las suposiciones de Aristóteles, que sostenía la teoría de los cuatro elementos. La visión aristotélica se abandona en el siglo XVII mediante las aportaciones de la revolución industrial. La primera mención del nivel macroscópico y microscópico se remonta a Descartes con su filosofía mecánico-corpuscular. Boyle introdujo la noción de corpúsculo como la combinación de partículas diminutas (Castillo y Arteaga, 2014).

El siglo XVIII es el momento en el que se postulan las leyes ponderales de las reacciones químicas y se da comienzo a los estudios sobre los enlaces químicos. Isaac Newton postuló su teoría de enlace, considerando que los átomos forman los enlaces debido a algún tipo de fuerzas, mientras que Stahl definió la noción de afinidad de las sustancias.

La química del siglo XIX comenzó con la introducción de la teoría de Davy, que propuso que el enlace químico tenía una naturaleza eléctrica. Posteriormente, John Dalton introdujo la teoría atómica, postulando que las moléculas están formadas por "átomos enganchados". Asimismo, Berzelius postuló la existencia de los polos negativos y positivos, tras la observación de la conductividad eléctrica por ciertas sustancias disueltas en agua. La teoría de la valencia se desarrolló gracias a las contribuciones de científicos como Frankland, Kekulé, Couper, Kolbe y Butlerov. A finales de siglo, J.J. Thomson descubrió el electrón, hecho que modificó la imagen del enlace químico hacia una similar a la actual. Thomson indicó que el enlace químico dependía de los electrones del átomo, utilizando el modelo atómico de Bohr. El propuso que los átomos se quedaban cargados debido a la transferencia de electrones, definiéndose de esta manera la teoría del enlace iónico.

A partir de esos modelos, en el siglo XX, Lewis, Kossel y Langmuir formularon la teoría del enlace covalente por la puesta en común de dos a seis electrones con la formación de enlaces simples, dobles o triples, para alcanzar la configuración electrónica de gas noble. (Mulet y Hing, 2008) También se postula la teoría Valence Shell Electron Pair Repulsion (VSEPR) por R. N. Nyholm y R. J. Gillespie a partir de la teoría de Lewis.

Aunque la teoría de Lewis se aplicaba fácilmente, tenía sus limitaciones y debilidades. Para superar estas limitaciones Schrödinger desarrolló la teoría cuántica,

introduciendo el carácter ondulatorio del electrón, mientras que de Broglie introdujo de la función de onda para el átomo de hidrogeno. Asimismo, Heitler y London describieron la ubicación espacial del electrón en los orbitales, que sirvió de base para la postulación de la Teoría del Enlace de Valencia (TEV). Utilizando los principios de la teoría del enlace de valencia, Slater y Pauling presentaron una modificación que tiene en cuenta la geometría y la disposición espacial de los enlaces, descrita como la teoría de hibridación de orbitales atómicos. Debido a la limitación de la TEV para explicar el paramagnetismo de la molécula de oxígeno, Hund y Mulliken desarrollaron la teoría de los orbitales moleculares, que se sigue manteniendo hoy en día. Para explicar la capacidad de conducir electricidad de los metales, se introdujo la teoría de bandas (Peierls, Bethe, Bloch), como extensión de la teoría de los orbitales moleculares (Espinoza, 2004).

El método de combinación lineal de orbitales atómicos, desarrollado por Lennard-Jones, supuso la representación del orbital molecular como combinación linear de orbitales atómicos (Solbes *et al.*, 2010). Finalmente, la teoría del funcional de la densidad que permite el cálculo de la distribución electrónica y la energía de la molécula fue postulada por W. Kohn, por la que recibió el Premio Nobel en 1998 (Solbes *et al.*, 2010).

La tabla 2 muestra un resumen de los hitos históricos de los modelos y marcos teóricos del enlace químico y de los átomos.

Tabla 2. Modelos y marcos teóricos del enlace químico y del átomo

Modelos atómicos	**Modelos enlace químico**	**Periodo histórico**
Modelo clásico de Dalton	Átomos enganchados	Hasta el siglo XVIII
Modelos precuántico de Bohr y Sommerfeld	Teoría de Lewis	Siglos XVIII-XX
Modelo cuántico de Schrödinger	Teoría de los electrones de valencia, Teoría de los orbitales moleculares, Teoría de bandas.	Siglo XX

Anexo 5. Historia de la reacción química.

Al considerar la reacción química como un programa de investigación se puede considerar que ha pasado por las siguientes etapas: (1) análisis, empezada por los estudios de Lavoisier y continuada por científicos como Fourcroy, Berthollet, Liebig; (2) sustitución, de elementos en los compuestos orgánicos, representando el inicio de la química orgánica; (3) síntesis, de nuevas moléculas, materiales y sustancias. Esta evolución del concepto de reacción química está estrictamente relacionada con la aparición de otros conceptos como elemento químico, sustancia, mezcla, compuesto, molécula (Garritz *et al.*, 2013).

La definición de sustancia se remonta a los cuatros elementos básicos que constituyen la materia según los griegos: agua, tierra, fuego y aire. No fue hasta el siglo XVI que esta concepción cambió con la introducción del concepto de "pureza" por Paracelso, para que llegado el siglo XVIII se haga la primera mención al concepto de "sustancia" por Geoffroy (Muñoz y Bertomeu-Sánchez, 2003). En cuanto al concepto de elemento químico, fue en el siglo XVII cuando Boyle define el concepto, instaurando así la base experimental de la Química (Garritz *et al.*, 2013).

Considerando la historia de la Química entre los siglos XVIII y XIX, se puede destacar que una de las piezas claves en la evolución de la reacción química lo representan los gases. Entre las contribuciones más relevantes se pueden destacar las aportaciones de científicos como Hales, que recogió el aire desprendido del calentamiento de líquidos y sólidos; Black, que demostró que el CO_2 tenía características diferentes del aire; Stahl, que desarrolló la teoría del flogisto con el objetivo de encontrar una teoría para los procesos de calcinación y combustión de los metales. Scheele consiguió identificar el oxígeno en sus experimentos, mientras que Priestley consiguió identificar y aislar el ácido clorhídrico. Todos los aspectos arriba mencionados fueron parte del comienzo de la química neumática, muy relevante en la revolución química en el siglo XVIII (Garritz *et al.*, 2013).

Otro pilar fundamental en la evolución de la historia de la reacción química está relacionado con las reacciones químicas en las que estaban involucrados metales. Priestley y Lavoisier trabajaron con el mercurio, que estudiaron los efectos de someter este metal a altas temperaturas y la calcinación, respectivamente. Los resultados conseguidos experimentalmente por Lavoisier le llevaron a plantear su teoría de la oxidación, destacando la importancia de conocer las relaciones de masa en los procesos

químicos (Mulet y Hing, 2008). La nueva nomenclatura establecida oficialmente para beneficiar de un lenguaje científico común ha ayudado a la evolución progresiva de la reacción química.

La evolución de las reacciones químicas llevó al descubrimiento de nuevos compuestos y elementos químicos, cuando también surgió la construcción de la tabla periódica por Mendeleiev. Posteriormente, en el siglo XIX van't Hoff comienza a analizar la reactividad de compuestos inertes, poniendo las bases de la cinética química, de la que nacen los conceptos de equilibrio químico y velocidad de reacción.

La reacción química también está estrechamente relacionada con el concepto de enlace químico. Unas de las contribuciones a destacar fueron la de Bergman, que construyo tablas para explicar el concepto de afinidad química, y Berzelius, que propuso una teoría de combinación química. Al principio de siglo XX, los científicos estaban preocupados en descifrar los mecanismos de reacción y es a finales de este siglo cuando surge la teoría de la valencia de Abegg. Otra contribución al concepto de enlace químico fue representada por Thomson, que también presentó un modelo atómico de pudin de pasas. Surge también en el siglo XX la teoría de Lewis sobre el enlace covalente/iónico.

Anexo 6. Historia de los modelos atómicos.

El conocimiento de la estructura y naturaleza de la materia representa un ámbito científico estudiado desde la antigua Grecia. El concepto de átomo para indicar el componente más pequeño de la materia fue descrito por los filósofos de la antigua Grecia. Sin embargo, para llegar a desarrollar la teoría atómica actual se necesitaron 2000 años.

En los siglos XVIII – XIX se desarrolló una amplia actividad científica fue, que abordó principalmente las leyes ponderales: ley de conservación de masa, ley de proporciones definidas, ley de proporciones reciprocas. En este ámbito de estudio, John Dalton desarrolló su teoría atómica. Sus estudios sobre la solubilidad de los gases en agua y la composición atmosférica le llevaron a postular una serie de ideas relacionadas con los átomos, los elementos y los compuestos químicos. Las interpretaciones que Dalton otorgó a los experimentos son muy similares a la realidad y algunas de sus ideas fueron esenciales para el posterior desarrollo de la Química. Sin embargo, su teoría también presentaba errores y no proporcionaba explicaciones sobre las proporciones exactas en las que se combinan los átomos. La aceptación de la existencia de los átomos generó un debate general en la comunidad científica de la época, formado tanto por detractores como defensores de la teoría atómica. La teoría atómica de Dalton fue universalmente aceptada a finales del siglo XIX tras el conocimiento de otros descubrimientos físicos.

Posteriores aportaciones al conocimiento científico, como, por ejemplo, la electrolisis de Faraday, la hipótesis sobre el electrón de Stoney, el descubrimiento de las cargas positivas por Goldstein, representaron aspectos importantes que J. J. Thomson analizó y utilizó en el desarrollo de su modelo atómico. A la vista del descubrimiento de los rayos-X en 1895 y a pesar de las grandes controversias que existían sobre los rayos catódicos, Thomson procedió a llevar a cabo sus propios experimentos sobre la naturaleza de los rayos catódicos. Debido a su alta habilidad de especular y establecer hipótesis, Thomson formuló un marco teórico para sus experimentos (Labarca y Lastiri, 2010) y desarrolló lo que se conoce como el modelo del “pudín con pasas”. Dicho modelo describe un átomo constituido por partículas cargadas negativamente distribuidas de manera uniforme alrededor de una esfera difusa cargada positivamente (Espinoza, 2004).

A partir del modelo atómico de Thomson, Marsden y Geiger diseñaron el experimento de dispersión de partículas alfa en 1909 (Rodríguez y Niaz, 2004). Rutherford analizó los resultados de dicho experimento y posteriormente desarrolló su modelo atómico, también conocido con el modelo planetario. Para poder explicar los

resultados experimentales Rutherford postuló que el nucleó cargado positivamente concentraba toda la masa del átomo, mientras que los electrones cargados negativamente neutralizaban la carga del nucleó y tenían masa despreciable (Cuéllar *et al.*, 2008a). Contemporáneos con el modelo atómico de Rutherford son el descubrimiento de la radiactividad por Bequerel y los experimentos sobre radiactividad llevados a cabo por Marie y Pierre Curie en 1899. Todos estos experimentos representaron la base empírica para la construcción del modelo atómico.

En el momento del postulado del modelo atómico de Rutherford, bajo su supervisión y en su laboratorio trabajaba el joven científico Bohr. En relación con los modelos atómicos descritos hasta ese momento, Bohr rechazaba el de Thomson y sostenía el de Rutherford, siendo el que mejor marco teórico proponía para los experimentos (Rodríguez y Niaz, 2004). Sin embargo, Bohr destacó que la estabilidad del átomo de Rutherford estaba en contradicción con los principios básicos de la electrodinámica y la mecánica clásica (Cuéllar *et al.*, 2008a). Por ello, en base a la teoría cuántica de Planck y la teoría de Einstein, Bohr desarrolló el modelo atómico pre-cuántico. El uso de una mezcla de la teoría cuántica y de la mecánica clásica generó una oposición por parte de los científicos de la época como Rutherford, Stern o Lorentz (Moreno *et al.*, 2010). Posteriormente, Sommerfeld completa el modelo de Bohr al considerar que las orbitas de los electrones pueden ser tanto circulares como elípticas (Cuéllar *et al.*, 2008a).

Debido a las limitaciones del modelo de Bohr, relacionadas con la imposibilidad de explicar algunos espectros, se desarrolló el modelo mecánico-cuántico. Entre las aportaciones más relevantes que sirvieron como base para el desarrollo del modelo actual se deben mencionar: la interpretación del electo fotoeléctrico por Einstein, la extensión de la dualidad onda –partícula a toda la materia por de Broglie, la ecuación de la onda del electrón por Schrödinger y el principio de incertidumbre de Heisenberg. Finalmente, es la interpretación de Max Born la que junta en una única explicación la mecánica de Heisenberg y la ondulatoria de Schrödinger, introduciendo los orbitales atómicos (Rodríguez y Niaz, 2004).

Anexo 7. Descubrimiento de los elementos químicos según la época y las técnicas utilizadas. Fuente: Castillo (2015).

Clave de colores:

- **Antes del 1500** (13 elementos): Antigüedad y Edad Media.
- **1500-1800** (+21 elementos): casi todos en el Siglo de las Luces.
- **1800-1849** (+24 elementos): revolución científica y revolución industrial.
- **1850-1899** (+26 elementos): gracias a la espectroscopia.
- **1900-1949** (+13 elementos): gracias a la teoría cuántica antigua y la mecánica cuántica.
- **1950-2000** (+17 elementos): elementos "postnucleares" (del nº at. 98 en adelante) por técnicas de bombardeo.
- **2001-presente** (+4 elementos): por fusión nuclear.

Anexo 8. Tabla Periódica de Menedeleiev.

(A) Tabla Periódica publicada por Mendeleiev en 1869. Fuente: Contreras (2019).

			Ti=50	Zr=90	?=180
			V=51	Nb=94	Ta=182
			Cr=52	Mo=96	W=186
			Mn=55	Rh=104,4	Pt=197,4
			Fe=56	Ru=104,4	Ir=198
			Ni=Co=59	Pd=106,6	Os=199
H=1			Cu=63,4	Ag=108	Hg=200
	Be=9,4	Mg=24	Zn=65,4	Cd=112	
	B=11	Al=27,4	?=68	Ur=116	Au=197?
	C=12	Si = 28	?=70	Sn=118	
	N=14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210
	O=16	S=32	Se=79,4	Te=128?	
	F=19	Cl=35,5	Br=80	J=127	
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85,4	Cs=133	Tl=204
		Ca=40	Sr=87,6	Ba=137	Pb=207
		?=45	Ce=92		
		?Er=56	La=94		
		?Yt=60	Di=95		
		?In=75,6	Th=118?		

(B)Tabla Periódica publicada por Mendeleiev en 1871. Fuente: Contreras (2019)

Serie	Grupo I - R_2O	Grupo II - RO	Grupo III - R_2O_3	Grupo IV RH_4 RO_2	Grupo V RH_3 R_2O_5	Grupo VI RH_2 R_2O_3	Grupo VII RH R_2O_7	Grupo VIII - RO_4
1	H=1							
2	Li=7	Be= 9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	?=44	Ti=48?	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59 Ni=59, Cu=63
5	(Cu=63)	Zn=65	?=68	?=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	?=100	Ru=104, Rh=104 Pd=104, Ag=108
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140	…	…	…	…
9	…	…	…	…	…	…	…	…
10	…	…	?Er=178	La=180	Ta=182	W=184	…	Os=195, Ir=197 Pt=198, Au=199
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	…	…	…
12	…	…	…	Th=231	…	Ur=240	…	…

Anexo 9. Carta de Mendeleiev para su profesor de Química de la Universidad de San Petersburgo. Fuente: Manzano (2009).

"El Congreso de Química que acaba de finalizar en Karlsruhe produjo tal notable efecto en la historia de nuestra ciencia que yo considero un deber, aún en unas pocas palabras, describir los hechos y resultados que tuvieron lugar. La esencial razón de convocar un congreso internacional de Química fue el deseo de clarificar y, si fuese posible, llegar a acuerdos en las diferencias básicas que hay entre los seguidores de las diferentes escuelas químicas. Primeramente, Kekulé propuso resolver cuestiones como la diferencia entre moléculas, átomo y equivalente; la del valor de los pesos atómicos, si la partícula de Gerhardt o la partícula de Berzelius tal como han sido establecida por Liebig y Poggendorf, y ahora usada por la mayoría de la gente, debería ser aceptada; por otra parte, la cuestión de las fórmulas, y finalmente, incluso sobre el caso el estado actual la ciencia, deberíamos considerar las razones de los efectos químicos. Pero ya en la primera reunión, el 3 de septiembre, los reunidos encontraron que era imposible clarificar tal número de cuestiones, resolviendo entonces que solamente si debatirían las dos primeras. Fue elegida una comisión de treinta miembros para el tratamiento preliminar de esas dos cuestiones. Stanislao Cannizzaro estuvo finalmente en esa comisión, animando el debate, y en justicia hay que decir que recibió una general aceptación. En la segunda sesión del Congreso, el 4 de septiembre, la comisión informó de la resolución la que habían llegado ... Además, se acordó entender los equivalentes como conceptos empíricos que no responden a la misma naturaleza que la del átomo o de la molécula. Puesta la votación la mayoría levantó sus manos ... El resultado fue inesperadamente unánime e importante. Entendiendo la diferencia entre átomos y moléculas, los químicos de todos los países comprendieron el principio del sistema unitario...La tercera sesión, el 5 de septiembre, fue dedicada a la cuestión de los pesos atómicos, principalmente del carbono: o aceptar el nuevo de 12 o quedar con el antiguo de 6, hasta entonces usado por casi todo el mundo. Después de un largo debate, en la última sesión, el 6 de septiembre, J. Dumas hizo una brillante intervención proponiendo el uso del nuevo peso solamente en química orgánica dejando el viejo peso para la inorgánica. En contra de esto Cannizzaro respondió acaloradamente, mostrando que todos deberían usar el mismo nuevo peso atómico. No hubo votación para esta propuesta, pero la gran mayoría tomó parte a favor de Canizzaro. En relación a esto, debo decir que en todos los debates no hubo palabras inapropiadas entre ambas partes. Todo esto,

me parece garantía total de un rápido éxito de las nuevas ideas para el futuro. La mitad de los químicos tienen ya resuelto no votar en contra de esas ideas.”

D. Mendeleev, Heildelberg, 6 de Septiembre de 1860.

Anexo 10. La vida de Antoine Laurent Lavoisier. Fuente: Martín (2004).

"*Antoine Laurent Lavoisier nació en París el 26 de agosto de 1743 en el seno de una familia burguesa relacionada con el mundo de las leyes, su padre era un abogado que ocupaba el cargo de procurador del Parlamento de París, el tribunal francés más importante de los existentes en esa época. Su madre que también era hija de un abogado, falleció cuando él tenía cinco años, así que él y su hermana vivieron con su abuela materna y su joven tía Constante. Su educación se encaminó hacia la abogacía. Inicialmente su padre le matriculó en el prestigioso Colegio Mazarin y allí cursó lengua, literatura, filosofía, matemáticas y Física. Una vez finalizados sus estudios primarios comenzó los de Derecho, obteniendo la licenciatura en 1764. Y a partir de aquí se decantó por los estudios de ciencias asistiendo a clases de Física con el abad Nollet, de química con Laplanche y Rouelle, de matemáticas con Lacaille y de botánica con Bernard Jussieu. También estudió mineralogía con Guettard y, junto con éste, formó parte en 1767 de una expedición geológica de cinco meses para elaborar un atlas mineralógico de Francia; trabajo que nunca se completó, debido al elevado coste de la empresa. Durante ese viaje Lavoisier se dedicó también a analizar la calidad de las aguas de fuentes y manantiales.*

En 1764 con veintiún años, Lavoisier se presentó a un concurso convocado por la Academia, con un proyecto de alumbrado de las calles de París, en el que recomendaba la utilización de velas, reflectores y también de resinas anticongelantes en el invierno. No obtuvo el premio, pero sí una mención especial por su esmerado estudio. Al año siguiente, volvió a presentar a la Academia un trabajo sobre el yeso (plaster de París) que se empleaba para blanquear las paredes de las casas parisinas. A él le llamó la atención que el yeso cristalizado hubiera de ser calentado para transformarlo en yeso en polvo, antes de poder aplicarlo a las paredes.

En 1771 se casó con Marie Anne Pierrette Paulze (1758-1836), hija del fermier director de la Comisión de Tabacos. Él tenía por entonces 28 años y ella tan sólo 14. No tuvieron hijos y pese a la diferencia de edad tuvieron una buena relación matrimonial, su esposa se convirtió en su secretaria y eficaz colaboradora. Fue una mujer muy inteligente que llegó a dominar varias lenguas, entre ellas el latín e inglés y tradujo para su marido las obras científicas inglesas más importantes del momento; así pudo conocer Lavoisier los escritos de Priestley y Cavendish, entre otros. Marie Anne también recibió clases del pintor Jacques-Louis David y fue la autora de los dibujos que ilustran varios de los libros de su marido. Era la perfecta anfitriona en las reuniones semanales que él

convocaba en su casa, a las que eran invitados otros científicos y que ella mantuvo después de la muerte de Lavoisier.

Lavoisier deseaba desde muy joven conseguir entrar en el restringido club de la Academia de Ciencias de París. Falló en su primer intento de ingreso en 1766, pero en 1768 gracias a sus fuertes apoyos (de los académicos Rouelle, Guettard y De Jussieu) y a un incumplimiento de las reglas, ya que se creó una vacante adicional para él, fue admitido en el rango más bajo de ayudante. Al año siguiente falleció el anciano metalúrgico Gabriel Jars, que había sido su competidor por el puesto el año anterior y Lavoisier se convirtió en miembro de pleno derecho. Para la Academia, Lavoisier realizó numerosos trabajos normalmente en colaboración con otros miembros y participó en la redacción de informes oficiales sobre una gran variedad de temas que eran importantes para el Estado, como el del abastecimiento de agua a la ciudad de París, que se producía a través de un canal abierto. Los químicos tenían que tomar muestras de esta agua y analizarla sometiéndola a destilaciones y evaporación a sequedad. De esta manera se obtenía un residuo sólido que hacía suponer que el agua se transmutaba en tierra tal como apuntaban las viejas ideas alquimistas. Lavoisier también realizó experimentos con el agua, introduciendo cierta cantidad en el interior de un recipiente de vidrio hermético, la calentó hasta ebullición durante tres meses sin interrupción. Poco a poco se fue formando un residuo sólido y al finalizar este tiempo pesó el conjunto, comprobando que la masa total no había cambiado prácticamente respecto a la inicial. A continuación, pesó el residuo sólido y el recipiente por separado, constatando que el peso del sólido coincidía casi exactamente con la disminución de masa que había sufrido el recipiente, por lo que dedujo que el sólido originado provenía de la disolución en el agua de alguno de los componentes del vidrio. En este trabajo ya se observa como Lavoisier le adjudicaba a la balanza un papel bastante importante, cosa que repetirá siempre de aquí en adelante en la mayoría de sus experimentos. Los resultados de su estudio sobre el agua fueron comunicados a la Academia mediante un informe en 1770.

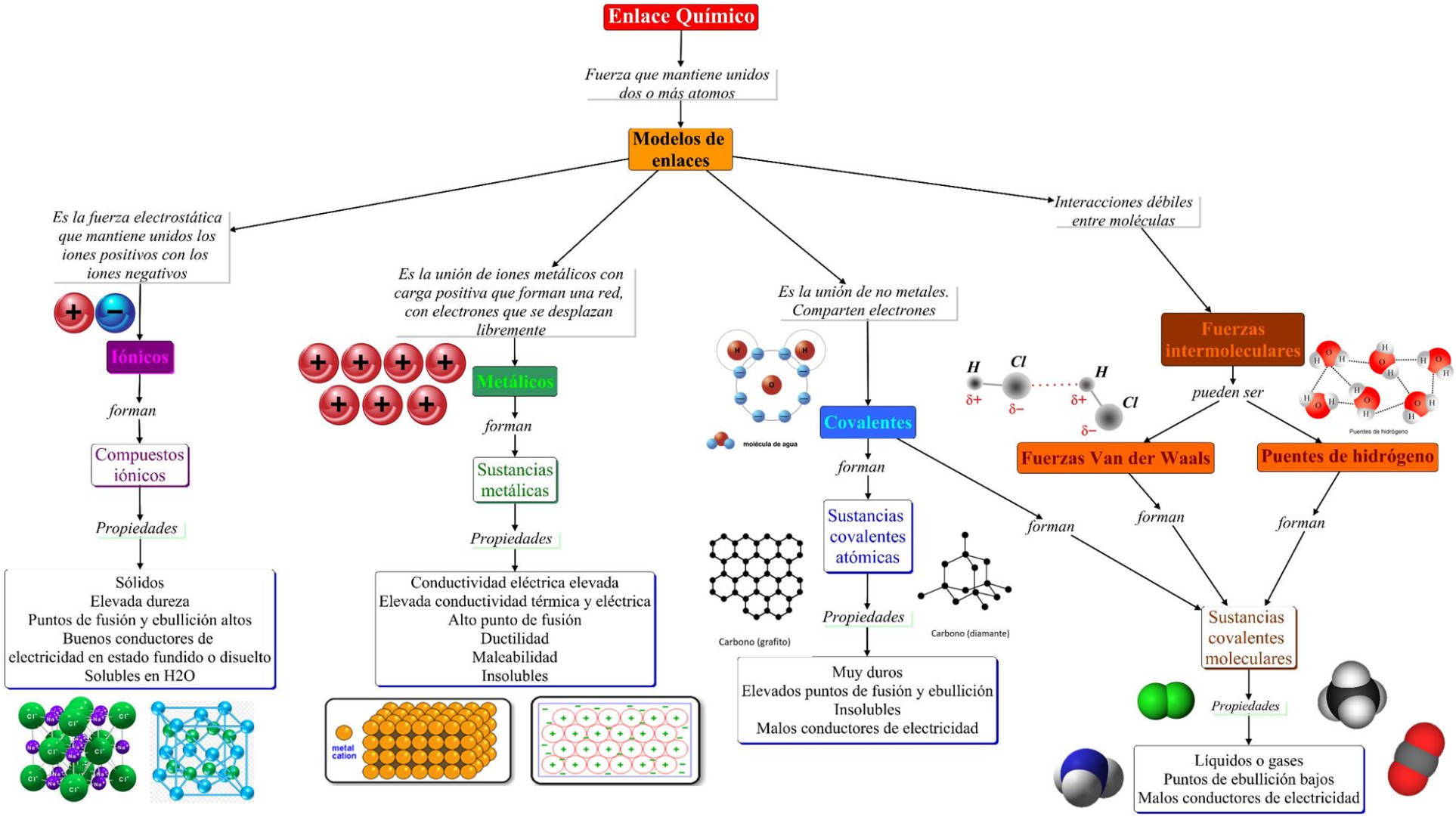
A partir de 1775 Lavoisier fue nombrado régisseur des poudres et salpêtres (director de pólvoras y salitres) y se le encomendó la tarea de solucionar el problema de la escasez y baja calidad de la pólvora francesa. Después de un minucioso estudio como era habitual en él, acabó produciendo una pólvora excelente considerada una de las mejores de Europa, lo que contribuyó a aumentar aún más su prestigio. Fijó su residencia en El Arsenal, donde instaló también un laboratorio y allí vivió hasta 1791. Por su casa y su laboratorio magníficamente equipado pasaron de visita los científicos más

prestigiosos, tanto franceses como extranjeros, entre ellos cabe destacar a Priestley, Watt y el americano Franklin. En este laboratorio trabajaron como auxiliares jóvenes promesas como Fourcroy y Hassenfratz, a los que Lavoisier ayudó en el desarrollo de sus carreras.

En su laboratorio invirtió grandes sumas de dinero mandando construir numerosos y sofisticados aparatos, la mayoría diseñados por él. Actualmente este laboratorio podemos verlo en el Musée Nacional des Techniques de París. Cuando su viuda lo recuperó después de ser confiscado, los químicos Berthollet y Leblanc realizaron un exhaustivo inventario del mismo y registraron 13.000 aparatos de química y más de doscientos cincuenta instrumentos de Física. Allí se encontraba el gasómetro, el instrumento más importante del laboratorio, del que había encargado dos unidades al ingeniero Mégnié el joven y que éste le entregó en 1787.

El 8 de mayo de 1794 la guillotina segó su vida a los 51 años, después de ser arrestado y acusado de traición a la patria. Sus bienes y su laboratorio fueron confiscados, aunque su patrimonio le fue devuelto a su viuda años más tarde y el nombre de Lavoisier rehabilitado, después de constatarse el error que supuso su detención y ajusticiamiento.”

Anexo 11. Ejemplo de mapa conceptual para el enlace químico. Fuente: elaboración propia.



Anexo 12. Evolución histórica del enlace químico.

(A). Tabla para la evolución histórica del enlace químico. Fuente: Elaboración propia.

Científicos	Aportaciones a los modelos de enlace
Demócrito **Robert Boyle**	
Isaac Newton	
Hamphry Davy	
John Dalton	
Berzelius	
Frankland, Kekulé, Couper, Kolbe, Butlerov	
J. J. Thomson	
Lewis	
Kossel	
Langmuir	
Schrödinger	
Heitler, London	
Slater, Pauling	
Hund, Mulliken	
Peierls, Bethe, Bloch	
Lennard-Jones	
W. Kohn	

(B) Tabla para la evolución histórica del enlace químico. Presentación de la información más relevante que se espera que los alumnos aporten.

Científicos	Aportaciones a los modelos de enlace
Demócrito **Robert Boyle**	Materia constituida por partículas diminutas que son los átomos. La reorganización de los átomos produce cambios químicos.
Isaac Newton	Teoría de enlace – los átomos forman los enlaces debido a algún tipo de fuerzas
Hamphry Davy	Naturaleza eléctrica del enlace químico
John Dalton	Teoría atómica – las moléculas están formadas por átomos enganchados. La reorganización de los átomos produce cambios químicos.
Berzelius	Existencia de polos negativos y positivos. Observación de conductividad eléctrica de sustancias disueltas en agua.
Frankland, Kekulé, Couper, Kolbe, Butlerov	Teoría del enlace de valencia.
J. J. Thomson	Descubrimiento del electrón. El enlace químico depende de los electrones del átomo. Teoría del enlace iónico – los átomos se quedan cargados debido a la transferencia de electrones.
Lewis	Teoría del enlace covalente
Kossel	Teoría del enlace iónico.
Langmuir	Enlace covalente y electrovalente. Regla del octeto.
Schrödinger	Teoría cuántica – carácter ondulatorio del electrón.
Heitler, London	El electrón está ubicado en los orbitales. Base de la teoría del enlace de valencia.

Slater, Pauling	Teoría de hibridación de orbitales atómicos. Modificación de la teoría del enlace de valencia (TEV).
Hund, Mulliken	Teoría de los orbitales moleculares para poder explicar el paramagnetismo de la molécula de oxígeno.
Peierls, Bethe, Bloch	Teoría de bandas
Lennard-Jones	El orbital molecular como combinación lineal de orbitales atómicos
W. Kohn	Teoría del funcional de la densidad para calcular la distribución electrónica y la energía de la molécula.

Anexo 13. Actividad modelos atómicos. Fuente: Elaboración propia.

Esquema 1. Cronograma y descripción de los modelos atómicos.

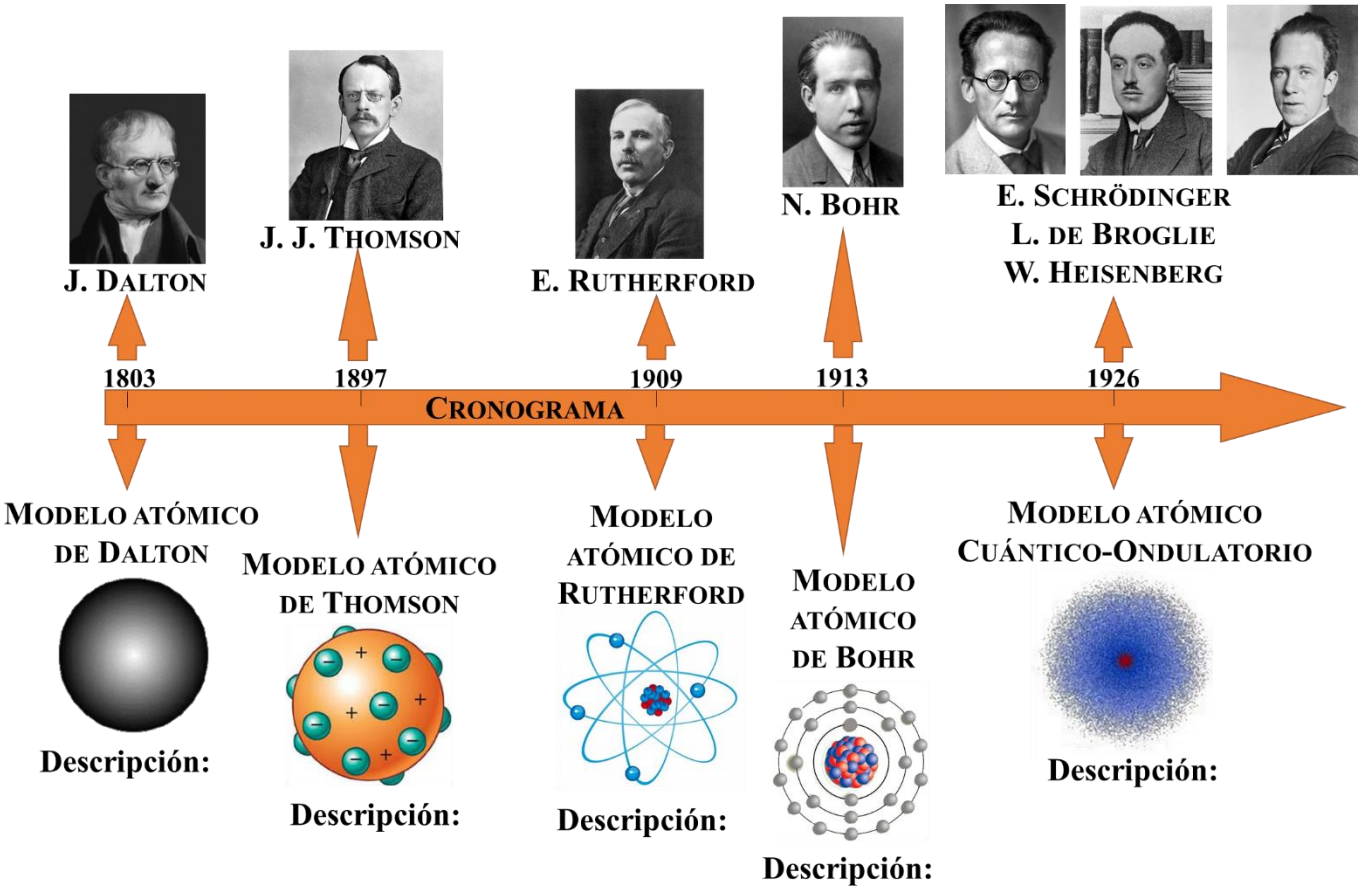


Tabla 3. Marco teórico y limitaciones de los modelos atómicos

Modelo atómico	Marco teórico	Limitaciones
Modelo atómico de Dalton (1803)		
Modelo atómico de Thomson (1897)		
Modelo atómico de Rutherford (1909)		
Modelo atómico de Bohr(1913)		
Modelo atómico cuántico-ondulatorio (1926)		