

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)

Enllaçant didàctica i història de la ciència: classificacions i models de les unions químiques en els llibres de text de secundària (2007-2016)

Bonding didactics and history of science: classifications and models of the chemical bonds in secondary education chemistry textbooks (2007-2016)

Luis Moreno Martínez / Universidad de Valencia. Instituto de Historia de la Medicina y de la Ciencia López Piñero / Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de Formación de Profesorado y Educación



resumen

Comprender cómo átomos, iones o moléculas se unen para dar lugar a estructuras que permitan explicar las propiedades de las sustancias es uno de los objetivos característicos de la educación química. Con este fin didáctico, los libros de texto suelen hacer uso de clasificaciones y modelos, así como alusiones a algunos protagonistas de la historia de la química que contribuyeron al estudio de las uniones químicas. El presente artículo analiza la forma en que son presentadas dichas clasificaciones y modelos, así como el tratamiento dado a la historia de la química en el estudio de las uniones químicas.

palabras clave

Enlace químico, didáctica de la química, historia de la ciencia, libros de texto.

resum

Comprendre com àtoms, ions o molècules s'uneixen per donar lloc a estructures que permetin explicar les propietats de les substàncies és un dels objectius característics de l'educació química. Amb aquesta finalitat didàctica, els llibres de text solen fer ús de classificacions i models, així com al·lusions a alguns protagonistes de la història de la química que van contribuir a l'estudi de les unions químiques. El present article analitza la forma en què es presenten aquestes classificacions i models, així com el tractament que s'ha donat a la història de la química en l'estudi de les unions químiques.

paraules clau

Enllaç químic, didàctica de la química, història de la ciència, llibres de text.

abstract

Understanding how atoms, ions or molecules bind together and result in structures that explain the properties of the substances is one of the characteristic objectives of chemistry education. With this didactic purpose, textbooks often use classifications and models, as well as references to some scientists in the history of chemistry that contributed to the study of chemical bonds. This essay analyzes how these classifications and models are presented, as well as the treatment of the history of chemistry in the explanation of the chemical bond.

keywords

Chemical bond, didactics of chemistry, history of science, textbooks.

Introducción

Enlace químico, enlace covalente, enlace de hidrógeno, enlaces intermoleculares, fuerzas intermoleculares, etc. Son varios los tipos de uniones entre átomos, moléculas o iones que podemos encontrar en libros de texto y manuales de química. En algunos casos, interacciones como las fuerzas de Van der Waals o los enlaces de hidrógeno son incluidas dentro del enlace químico. En otros, el término *enlace químico* se reserva únicamente para los enlaces covalente, iónico y metálico. A fin de solventar este primer problema terminológico, emplearemos el término *uniones químicas*, donde el adjetivo *químicas* no denota la naturaleza de la interacción, sino el marco en el que dichas interacciones son consideradas: el caso de la química, ciencia en la que el estudio de las uniones entre átomos, moléculas e iones tiene un papel fundamental. En las próximas líneas, haremos un recorrido por la investigación didáctica en torno a clasificaciones, modelos y protagonistas relacionados con las uniones químicas a través de varios libros de texto de ESO y bachillerato. Un recorrido en el que la historia de la química estará presente explícita e implícitamente.

Las uniones químicas en ESO y bachillerato a través de los libros de texto

Muestra

El análisis recogido en el presente artículo ha sido realizado sobre una muestra compuesta de un total de dieciséis libros de texto de ESO y bachillerato, pertenecientes a cuatro editoriales. En todos los casos, se trata de libros de texto de la materia de Física y química, excepto en segundo curso de bachillerato, en que se ha acotado el análisis a la materia de Química. Los libros de

texto analizados se inscriben en el currículo LOE para ESO y bachillerato (2007-2016), lo que ha permitido inscribir las conclusiones alcanzadas en un marco temporal amplio y a la vez próximo a nuestra situación educativa actual.

La elección de estas editoriales se ha realizado con base en los resultados del estudio *Scholarly publishers indicators in humanities and social sciences*, partiendo del *ranking* 2014 sobre prestigio editorial en el ámbito de la educación, y seleccionando cuatro editoriales (dos españolas, A y B, y dos extranjeras, C y D) que ocupasen los primeros puestos según dicho estudio, con una línea editorial destinada a la publicación de libros de texto vigentes en el marco temporal señalado y cuya publicación estuviese generalizada al conjunto de comunidades autónomas. La relación de libros de texto analizados se puede consultar al final del presente trabajo¹.

Los libros de texto analizados se inscriben en el currículo LOE para ESO y bachillerato (2007-2016), lo que ha permitido inscribir las conclusiones alcanzadas en un marco temporal amplio y a la vez próximo a nuestra situación educativa actual

¹ Las cuatro editoriales se han designado como A, B, C y D a lo largo del artículo. Para identificar el libro de texto correspondiente, se añadirá un número determinado: 1 (1.º bachillerato), 2 (2.º bachillerato), 3 (3.º ESO) y 4 (4.º ESO). Así, por ejemplo, cuando nos refiramos al texto C3, significará que hacemos alusión al libro de texto de 3.º de ESO de la editorial C.

Instrumento metodológico

El instrumento metodológico creado consta de once ítems para ESO (tabla 1) y nueve para bachillerato (tabla 3). Estas cuestiones se enmarcan en la investigación didáctica relacionada con el enlace químico y la estructura de la materia, permitiendo abordar problemas de interés actual en la enseñanza de la química, como la modelización de las uniones químicas para su enseñanza-aprendizaje y otros tantos interrogantes que abarcan desde cuestiones terminológicas hasta históricas. La historia de la ciencia se ha tenido en cuenta a la hora del diseño del instrumento metodológico, de modo que, además de los correspondientes ítems relacionados con la historia de la química, se ha empleado una ficha de registro de todas aquellas referencias históricas que incluyen los libros de texto analizados (véase el anexo). Como veremos, esta es solo una de las formas de enlazar didáctica e historia de la ciencia.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos tras aplicar el instrumento metodológico diseñado a la muestra de libros de texto de ESO y bachillerato se encuentran recogidos en las tablas 2 y 4, respectivamente.

Los resultados del análisis llevado a cabo han permitido perfilar un marco de reflexión que puede ser de interés para la investigación educativa y la práctica docente, pero también para otras disciplinas, como la historia de la ciencia:

1. Clasificaciones

La mayoría de libros de texto suelen distinguir tres tipos de enlaces químicos (enlace covalente, iónico y metálico) y otro conjunto de interacciones (fuerzas de Van der Waals y enlaces

Tabla 1. Ítems para el análisis de los libros de texto de tercer y cuarto curso de ESO

ÍTEMS	
1	¿Se especifica la existencia de fuerzas intermoleculares?
2	¿Se especifican propiedades de las sustancias moleculares? ¿Se justifican?
3	¿Se relaciona cada tipo de enlace con el carácter metálico o la electronegatividad?
4	¿Se usan los modelos de enlace químico para explicar las propiedades de las sustancias?
5	¿Qué modelos atómicos se estudian?
6	¿Se explican las configuraciones electrónicas?
7	¿Se explica la regla del octeto?
8	¿Se utilizan fórmulas o estructuras de Lewis?
9	¿Se utilizan representaciones del modelo planetario del átomo para explicar el enlace?
10	¿Se incluyen referencias a la historia de la química en el texto de las unidades didácticas u epígrafes dedicados al enlace químico?
11	¿Se incluyen imágenes relacionadas con la historia de la química (protagonistas, espacios, instrumentos...) en las unidades didácticas u epígrafes dedicados al enlace químico?

Tabla 2. Resultados del análisis de los libros de texto de tercer y cuarto curso de ESO²

Editorial Curso Ítem	A		B		C		D	
	3° ESO (A3)	4° ESO (A4)	3° ESO (B3)	4° ESO (B4)	3° ESO (C3)	4° ESO (C4)	3° ESO (D3)	4° ESO (D4)
1	No		Sí		No		Sí	
2	Sí/No	Sí/No	Sí/Sí	Sí/Sí	No/No	Sí/No	Sí/Sí	Sí/Sí
3	Sí		No	Sí	No	Sí	Sí	
4	No	Sí	Sí		No	Sí	Sí	
5	Thomson, Rutherford	Thomson, Rutherford, Bohr, actual	Dalton, Thomson, Rutherford	Thomson, Rutherford, Bohr	Thomson, Rutherford	---	Thomson, Rutherford, Bohr	Rutherford, Bohr, Bohr- Sommerfeld
6	Sí		No	Sí	No		Sí	
7	Sí		No	Sí	No	Sí	Sí	
8	No	Sí	No	Sí	No		No	Sí
9	Sí	No	Sí		No	Sí	Sí	
10	Ninguna	Pocas	Ninguna	Pocas	Ninguna		Pocas	Ninguna
11	Ninguna		Ninguna		Ninguna		Ninguna	

Tabla 3. Ítems para el análisis de los libros de texto de bachillerato

ÍTEMS	
1	¿Se relaciona cada tipo de enlace con el carácter metálico o la electronegatividad?
2	¿En qué modelo atómico se enmarca el estudio del enlace químico?
3	¿Se explica el enlace covalente coordinado o dativo?
4	Para segundo curso: ¿Se indica la naturaleza gradual entre los distintos tipos de enlace químico?
5	Para primer curso: ¿Se aborda la geometría molecular?
6	Para segundo curso: Se incluye al dihaluro de berilio como ejemplo de molécula lineal?
7	Para segundo curso: ¿Se introduce la formación de complejos en el estudio de los equilibrios de solubilidad?
8	¿Se incluyen referencias a la historia de la química en el texto de las unidades didácticas u epígrafes dedicados al enlace químico?
9	¿Se incluyen imágenes relacionadas con la historia de la química (protagonistas, espacios, instrumentos...) en las unidades didácticas u epígrafes dedicados al enlace químico?

de hidrógeno), que clasifican como *fuerzas intermoleculares*.

² Para los ítems relacionados con referencias históricas en texto e imágenes, se consideran las posibles opciones: ninguna (0 referencias), pocas (hasta 5), algunas (hasta 10) o varias (más de 10).

Centrándonos únicamente en los enlaces químicos, uno de los criterios de diferenciación entre los tres tipos suele ser atender a la diferencia de carácter metálico o de electronegatividad de los átomos enlazados. Si bien esta clasificación tiene una gran

utilidad didáctica, especialmente para los primeros cursos, ha de ser revisada y matizada en cursos superiores, como en segundo curso de bachillerato, a fin de no introducir ideas erróneas en el aprendizaje del enlace químico.

Tabla 4. Resultados del análisis de los libros de texto de primer y segundo curso de bachillerato³

Editorial	A		B		C		D	
Curso	1º BACH. A1	2º BACH. A2	1º BACH. B1	2º BACH. B2	1º BACH. C1	2º BACH. C2	1º BACH. D1	2º BACH. D2
1	Sí		Sí		Sí		Sí	
2	MC		Bohr y MC	MC	MC		MC	
3	Sí		Sí		Sí		Sí	
4	---	Sí	---	No	---	Sí	---	Sí
5	No		Sí		No		Sí	
6	---	Sí	---	Sí	---	Sí	---	Sí
7	---	Sí	---	Sí	---	Sí	---	No
8	Pocas	Algunas	Pocas		Pocas	Algunas	Pocas	
9	Ninguna	Pocas	Pocas		Ninguna	Pocas	Ninguna	

Una primera limitación de dicho criterio para identificar los distintos tipos de enlace químico la encontramos cuando se estudia la geometría molecular. Los dihaluros de berilio (frecuentemente, el dicloruro de berilio) suelen ser presentados como ejemplos típicos de moléculas lineales

Una primera limitación de dicho criterio para identificar los distintos tipos de enlace químico la encontramos cuando se estudia la geometría molecular. Los dihaluros de berilio (frecuentemente, el dicloruro de berilio) suelen ser presentados como ejemplos típicos de moléculas lineales. Encontramos aquí un ejemplo de enlace covalente entre un átomo de un elemento metálico y un átomo de otro elemento no metálico, algo que según las clasificaciones imperantes en los libros de texto debería ser consi-

³ Aclaración: MC, modelo mecano-cuántico del átomo.

derado como un enlace iónico. Una segunda limitación la encontramos en el caso de los compuestos de coordinación. Si bien la química de coordinación está poco presente en los libros de texto de segundo curso de bachillerato, por no incluir muchos de ellos la teoría ácido-base de Lewis (no recogida en el currículo), sí es posible encontrar referencias a los compuestos de coordinación al menos en dos ocasiones: cuando se explica el enlace covalente coordinado o dativo y cuando se explica la formación de complejos de un metal como mecanismo para aumentar la solubilidad de un precipitado. De este modo, el alumno de segundo curso de bachillerato encuentra otra nueva situación en la que la definición de *enlace covalente* como aquel que se da entre átomos de elementos no metálicos se revela insuficiente.

Esto pone de manifiesto que la clasificación de los enlaces químicos recogida en los libros de texto se muestra limitada en segundo curso de bachillerato, siendo conveniente destacar que los distintos tipos de enlace no dejan de ser sino modelizaciones y que podemos encontrar enlaces

que no sean de un único tipo. Aunque este tipo de cuestiones sí se apuntan en algunos de los libros de texto de bachillerato analizados⁴, se hace necesario destacar su importancia, pues, además de contribuir a una mejor alfabetización química, contribuyen a mostrar la química como una ciencia que trata de describir la realidad (la materia) usando modelos, que tienen limitaciones y que estas han de ser conocidas.

2. Modelos

Tal y como apuntan los resultados, la mayor parte de los libros de texto, tanto de ESO como de bachillerato, presentan los distintos modelos de enlace químico para poder explicar las propiedades de las sustancias. No obstante, junto con la estructura química, el tipo de enlace químico (covalente, iónico, metálico) permite justificar las propiedades de las sustancias con estructura gigante (covalente, iónica, metálica), pero no las de las sustancias

⁴ Algunos textos presentan el enlace metálico como un caso de enlace covalente colectivo (A2) y el enlace iónico y el covalente apolar, como casos extremos opuestos de un único enlace químico generalizado (C2, D2).

moleculares, que requieren atender a las fuerzas intermoleculares.

En ESO, la mayoría de libros de texto enmarcan la explicación del enlace químico en el contexto del modelo atómico planetario, incluso cuando no se aborda el estudio de las configuraciones electrónicas, lo cual limita el uso de estructuras o diagramas de Lewis. En estos niveles, sobre todo en tercer curso, se hace especialmente necesario analizar cómo ha de ser presentado el enlace químico, si es necesario hacerlo y con qué fin, constituyendo un interesante punto de reflexión en torno a la selección y secuenciación de los contenidos conceptuales de la química en los primeros cursos de la materia de Física y química.

En bachillerato, encontramos otro caso de gran interés para el análisis didáctico en torno a la enseñanza-aprendizaje de las uniones químicas. Si bien en primer curso algunos libros de texto introducen la geometría molecular, es en segundo curso de bachillerato cuando su estudio se amplía y se detalla. El método, teoría o modelo (pues todos estos términos aparecen recogidos en los textos) de repulsión de pares electrónicos de la capa de valencia (RPECV) y la teoría de hibridación de orbitales atómicos son las dos herramientas principales para explicar la geometría de las moléculas. Mientras que el método RPECV permite predecir la geometría de las moléculas, es la teoría de enlace de valencia (TEV) la que permite justificar la misma. El uso generalizado de la hibridación como recurso para justificar la geometría molecular puede inducir en el alumno la idea de que siempre es necesario recurrir a orbitales híbridos para explicar la geometría molecular o el enlace. Por ejemplo, explicar la formación del enlace en moléculas

como Cl_2 o HCl no requiere considerar hibridación alguna para el átomo de cloro.

A fin de que el alumno comprenda por qué ha de emplear orbitales híbridos, es conveniente mostrar que no siempre es necesario recurrir a la hibridación, justificando cuándo ha de ser empleada. De hecho, históricamente, la hibridación actúa como solución para aquellos casos en que la TEV no podía explicar la geometría molecular en términos de orbitales atómicos puros. Todo ello pone de manifiesto la importancia de mostrar que la elección de una u otra hibridación radica en que ha de ser capaz de justificar la geometría molecular y el enlace a partir de los datos experimentales (como los ángulos de enlace), sin olvidar que de lo que se trata es de utilizar aproximaciones y modelos que permitan explicar la estructura de las moléculas. Un ejemplo más de las potencialidades que ofrece el estudio de las uniones químicas para, además de justificar las propiedades de las sustancias, comprender la naturaleza de la química como disciplina científica: una ciencia que usa distintos modelos que «conviven» y se complementan para describir distintas propiedades y fenómenos de la materia.

3. Protagonistas

El análisis realizado ha puesto de manifiesto que la historia de la química en relación con las uniones químicas tiene una presencia minoritaria, cuando no nula, en los libros de texto de ESO y bachillerato. El registro de referencias históricas (que se pueden consultar en el anexo) revela que la historia de la química en torno al enlace químico consiste fundamentalmente en una escueta sucesión de datos cronológicos (donde 1916 tiene un papel destacado),

alusiones puntuales a descubrimientos (como el caso del grafeno y el de los fullerenos) y menciones superficiales a los científicos artífices de distintos modelos y teorías (teoría de Lewis, teoría de enlace de valencia, hibridación, modelo del mar de electrones). Pese a esta escasa presencia de la historia de la química, el análisis de las referencias históricas recogidas permite obtener algunas conclusiones en torno al tratamiento y los usos didácticos de la historia de la química en la enseñanza.

Las alusiones a los científicos que actuaron como artífices de las distintas teorías, tales como Lewis, Kossel, Langmuir o Pauling, introducen la idea de una evolución lineal de la historia de la química. Así, ante un determinado problema, surge una serie de modelos que se suceden y rara vez interaccionan entre sí. Esta visión lineal, acumulativa y teleológica del desarrollo histórico de la química se aleja de los trabajos de investigación y perspectivas procedentes de los estudios históricos y sociales de la ciencia, así como de la línea de actuación de trabajos recientes sobre las múltiples contribuciones de la filosofía y la historia de la ciencia a la educación química (Quintanilla, Daza y Cabrera, 2014; Izquierdo et al., 2016; Niaz, 2016). Asimismo, esta visión de la historia de la química difiere de uno de los objetivos que el currículo LOE fija para la materia de Química de segundo curso de bachillerato: «Comprender y valorar el carácter tentativo y evolutivo de las leyes y teorías químicas, evitando posiciones dogmáticas y apreciando sus perspectivas de desarrollo». La investigación histórica ha señalado que la historia de los modelos atómicos y de las uniones químicas en las primeras décadas del siglo xx no puede entenderse

La (escasa) historia de la química presente en los libros de texto suele ignorar la interacción con otras disciplinas científicas, como la física. De este modo, se pierde la oportunidad de mostrar el papel que tuvo la física cuántica en el desarrollo de la química en el siglo xx

como dos historias independientes e inconexas entre sí, sino que se inscriben en un periodo complejo y confuso (Bensaude Vincent y Stengers, 1997)⁵. Trabajos recientes han apuntado en esta dirección, señalando cómo Lewis se dedicó, en el periodo 1916-1923, a tratar de armonizar su modelo cúbico del átomo (ausente en los libros de texto de ESO y bachillerato) con el modelo atómico de Bohr (Arabatzis, 2006).

La (escasa) historia de la química presente en los libros de texto suele ignorar la interacción con otras disciplinas científicas, como la física. De este modo, se pierde la oportunidad de mostrar el papel que tuvo la física cuántica en el desarrollo de la química en el siglo xx, uno de los criterios de evaluación específicos de la materia de Química de segundo curso de bachillerato del currículo LOE. En esta línea, trabajos recientes en historia de la ciencia

⁵ En esta línea, Harold Robinson expresaba en el Faraday Society Meeting de 1923: «Hoy parece que vivimos en un periodo de transición del conocimiento comparable a las décadas de los años cuarenta y cincuenta del siglo pasado, y dentro de dos o tres generaciones los químicos contemplarán retrospectivamente la confusión actual con los mismos sentimientos que nosotros experimentamos cuando contemplamos esa época» (Palmer, 1965).

han señalado el interés de Lewis por tratar de conciliar el «átomo físico» y el «átomo químico», que coexistieron en las primeras décadas del siglo xx, y cómo su idea del par de electrones como responsable del enlace covalente fue reinterpretada en el marco de la mecánica cuántica (Gavroglou y Simões, 2012).

Pese a la baja contextualización histórica, es posible encontrar referencias cronológicas, destacando especialmente una fecha: 1916, año en el que ora Lewis ora Lewis junto con otros científicos (Langmuir y Kossel) propone(n) sus (respectivas) explicaciones y modelos sobre los enlaces químicos. Este año corresponde a la publicación del artículo «The atom and the molecules», de Gilbert Newton Lewis, en *Journal of American Chemical Society* (Lewis, 1916), en el que planteaba la posibilidad de que «un electrón puede formar parte de una misma capa exterior de dos átomos diferentes y no podría afirmarse su pertenencia a ninguno de los dos de forma exclusiva». Si bien este artículo constituye un trabajo de gran importancia en la historia de las uniones químicas, posteriormente tendrá lugar un proceso de difusión, popularización y apropiación de las ideas de Lewis en que varios protagonistas (como Langmuir) tuvieron un papel significativo (Brock, 1998; Gavroglou y Simões, 2012). Frente a una narración que presenta la actividad científica como una empresa individual que avanza gracias a «momentos clave» que suponen puntos de ruptura total con trabajos anteriores, los trabajos de investigación en historia de la ciencia como los referidos anteriormente amplían el número de protagonistas y contextos, revelando de este modo la química como una actividad humana colectiva.

Retos y oportunidades: didáctica e historia de la ciencia. ¿Enlace simple o enlace doble?

Si bien el análisis realizado se enmarca dentro de la investigación en didáctica de las ciencias experimentales, se ha pretendido propiciar una relación doble entre historia de la ciencia y didáctica. En primer lugar, considerando la historia de la ciencia como objeto de estudio por parte de la investigación educativa. Así, algunos de los ítems del instrumento metodológico diseñado han pretendido conocer presencias y ausencias de la historia de la química ligada a las uniones químicas en los libros de texto. De este modo, el análisis de las escasas narrativas históricas presentes en los textos ha permitido confrontar la imagen de la química y su historia que reflejan estos materiales educativos con los resultados de algunos trabajos de investigación en historia de la ciencia.

Como se ha señalado, durante los dos primeros tercios del siglo xx, varios modelos coexistieron a fin de describir la estructura atómica, el enlace y la estructura de las sustancias. En la actualidad, los libros de texto de química constituyen materiales educativos en los que con facilidad conviven ideas clásicas y cuánticas en una misma página. Es por ello que el estudio de la enseñanza de la química en el siglo xx (especialmente, en las décadas señaladas) permite recuperar un escenario fértil para la reflexión en torno a la enseñanza del enlace químico. Una oportunidad para enlazar doblemente didáctica e historia de la ciencia y facilitar así el largo recorrido que en ocasiones existe en la transformación de la investigación histórica en reflexión didáctica y práctica docente.

Libros de texto analizados

A1. ZUBIAURRE, S.; ARSUAAGA, J. M.; MORENO, J.; GARZÓN, B. (2014).

- Física y química 1.º bachillerato. Madrid: Anaya.
- A2. ZUBIAURRE, S.; ARSUAGA, J. M.; GARZÓN, B. (2012). *Química 2.º bachillerato*. Madrid: Anaya.
- A3. ZUBIAURRE, S.; MORALES, A. M.; ARSUAGA, J. M.; PÉREZ, A. (2011). *Física y química 3.º ESO*. Madrid: Anaya.
- A4. ZUBIAURRE, S.; MORALES, A. M.; GÁLVEZ, F.; MOLINA, I. (2012). *Física y química 4.º ESO*. Madrid: Anaya.
- B1. MARTÍNEZ, M. J.; FONTANET, Á. (2012). *Química 2.º bachillerato*. Barcelona: Vicens Vives.
- B2. FONTANET, Á. (2014). *Química 2.º bachillerato*. Barcelona: Vicens Vives.
- B3. FONTANET, Á.; MARTÍNEZ, M. J. (2012). *Física y química 3.º ESO*. Barcelona: Vicens Vives. [Proyecto Nuevo Ergio]
- B4. FONTANET, Á.; MARTÍNEZ, M. J. (2012). *Física y química 4.º ESO*. Barcelona: Vicens Vives. [Proyecto Nuevo Ergio]
- C1. RODRÍGUEZ, A.; POZAS, A.; GARCÍA, J. A.; MARTÍN, R.; PEÑA, A. (2012). *Física y química 1.º bachillerato*. Madrid: McGraw-Hill.
- C2. POZAS, A.; MARTÍN, R.; RODRÍGUEZ, A.; RUIZ, A. (2009). *Química 2.º bachillerato*. Madrid: McGraw-Hill.
- C3. PEÑA, A.; POZAS, A.; GARCÍA, J. A.; VASCO, A. J. (2007). *Física y química 3.º ESO*. Madrid: McGraw-Hill.
- C4. CARDONA, A. R.; ANTONIO, J.; PEÑA, A.; POZAS, A.; VASCO, A. J. (2013). *Física y química 4.º ESO*. Madrid: McGraw-Hill.
- D1. BALLESTERO, M.; BARRIO, J. (2008). *Física y química 1.º bachillerato*. Madrid: Oxford. [Proyecto Tesela]
- D2. PEÑA, J.; VIDAL, M. C. (2009). *Química 2.º bachillerato*. Madrid: Oxford. [Proyecto Tesela]
- D3. PIÑAR, I. (2011). *Física y química 3.º ESO*. Madrid: Oxford. [Proyecto Adarve]

- D4. PIÑAR, I. (2012). *Física y química 4.º ESO*. Madrid: Oxford. [Proyecto Adarve]

Legislación

- Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la educación secundaria obligatoria (BOE n.º 5, de 5 de enero de 2007, p. 677-773).
- Real Decreto 1467/2007, de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas (BOE n.º 266, de 5 de noviembre de 2007, p. 45381-45477).

Enlace web

- Scholarly Publishers Indicators (SPI): <http://ilia.cchs.csic.es/SPI/index.html>.

Anexo

Las fichas de registro con las referencias históricas obtenidas del análisis de los libros de texto han sido incluidas como anexo.

Referencias y otras fuentes

- ARABATZIS, T. (2006). «How the electrons spend their leisure time: the chemist's perspective» En: *Representing electrons: A biographical approach to theoretical entities*. Chicago: University of Chicago Press, p. 175-199.
- BENSAUDE VINCENT, B.; STENGERS, I. (1997). *Historia de la química*. Salamanca: Addison-Wesley; Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- BERTOMEU SÁNCHEZ, J. R.; GARCÍA BELMAR, A. (2008). «La historia de la química: pequeña guía para navegantes. Parte I: viejas y nuevas tendencias». *Anales de Química*, n.º 1, p. 56-63.
- BROCK, W. H. (1998). *Historia de la química*. Madrid: Alianza.
- GAVROGLOU, K.; SIMÕES, A. (2012). *Neither physics nor chemistry. A history of quantum chemistry*. Massachusetts: MIT Press.
- IZQUIERDO, M.; GARCÍA, A.; QUINTANILLA, M.; ADÚRIZ, A. (2016). *Historia, filosofía y didáctica de las ciencias: Aportes para la formación del profesorado de ciencias*. Bogotá: Universidad Distrital.
- LEWIS, G. N. (1916). «The atom and the molecule». *Journal of American Chemical Society*, vol. 38, n.º 4, p. 762-785.
- NIÁZ, M. (2016). *Chemistry education and contributions from history and philosophy of science*. Londres: Springer.
- PALMER, W. G. (1965). *A history of the concept of valence to 1930*. Cambridge: Cambridge University Press.
- QUINTANILLA, M.; DAZA, S.; CABRERA, H. (2014). *Historia y filosofía de la ciencia: Aportes para «una nueva aula de ciencias», promotora de ciudadanía y valores*. Santiago de Chile: Bellaterra.



Luis Moreno Martínez

Es licenciado en Ciencias Químicas, experto en divulgación y cultura científica, máster en formación del profesorado de ESO y bachillerato (física y química) y en historia de la ciencia y comunicación científica. Tras haberse dedicado a la enseñanza y a la comunicación científica, actualmente es investigador predoctoral en estudios históricos y sociales sobre ciencia en el Instituto de Historia de la Medicina y de la Ciencia López Piñero de la Universidad de Valencia y en educación (didáctica de las ciencias experimentales) en la Facultad de Formación de Profesorado y Educación de la Universidad Autónoma de Madrid. C. e.: luis.morenomartinez@predoc.uam.es.

Anexo

EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA (TERCER Y CUARTO CURSO)

REFERENCIAS HISTÓRICAS (TEXTO)		
A	A3	—
	A4	<p>1. «Los hechos que acabamos de reflejar [la estabilidad de los gases nobles y que estos tengan su capa de valencia completa con ocho electrones, excepto el helio, que tiene dos] llevaron a G. Lewis y otros científicos a relacionar, en el periodo 1916-1918, la reactividad química con la estructura electrónica de la capa de valencia, dando lugar a la teoría electrónica del enlace químico o teoría de Lewis».</p> <p>2. También se hace referencia al grafeno, «sustancia pura alótropo del carbono, ya descrita en la década de 1930 y que a finales del siglo xx se denominó <i>grafeno</i> [...]. Sin embargo, no ha sido hasta principios de este siglo cuando la sociedad ha tenido noticia de qué es el grafeno y por qué es importante».</p>
B	B3	—
	B4	<p>1. «Las bases de una teoría del enlace químico fueron establecidas en 1916, de forma independiente y complementaria, por W. Kossel y G. Lewis. El punto de partida fue el diferente comportamiento de los gases nobles respecto a los demás elementos. [...] Esta primera teoría del enlace fue revisada y reformulada más adelante en profundidad, entre otras razones, porque la regla del octeto no es generalizable a todos los elementos. No obstante, pese a ser una aproximación muy elemental, permite explicar la formación de enlaces químicos en muchas sustancias, ya que la regla del octeto puede aplicarse a los elementos más representativos de la tabla periódica».</p> <p>2. También se hace referencia al descubrimiento de los fullerenos en 1985.</p>
C	C3	—
	C4	—
D	D3	1. «Fue Avogadro quien, en 1811, sugirió que las últimas partículas de los gases elementales no son átomos, sino agregados de átomos a los que dio el nombre de <i>moléculas</i> ».
	D4	—

BACHILLERATO

REFERENCIAS HISTÓRICAS (TEXTO)		
A	A1	1. Se hace referencia a que, entre 1916 y 1919, Lewis, Langmuir y Kossel relacionaron la actividad química con la estructura electrónica, estableciendo que los electrones de la capa más externa o de valencia deben desempeñar el papel principal en el enlace químico.
	A2	<p>1. «La naturaleza del enlace químico fue objeto de muchas disputas entre los químicos del siglo xix. Se intuía que las fuerzas eléctricas desempeñaban un papel importante, pero nadie sabía cómo aplicarlas a los átomos que son cuerpos eléctricamente neutros. La teoría de Lewis, basada en la naturaleza electrónica del enlace, fue la primera teoría moderna del enlace químico».</p> <p>2. En el periodo 1916-1918, dos estadounidenses, Lewis y Langmuir, y un alemán, Kossel, propusieron la naturaleza electrónica del enlace químico, relacionando la actividad química y la estructura electrónica de un átomo dado.</p> <p>3. Se indica que el modelo del gas de electrones se propuso con anterioridad a la teoría de Lewis.</p> <p>4. Se señala que el método RPECV es el desarrollo natural de la teoría de Lewis, aunque fue propuesto cincuenta años más tarde.</p> <p>5. A pie de foto, se indica que J. D. van der Waals recibió el Premio Nobel de Física en 1910 por su trabajo en el establecimiento de una ecuación de estado para gases y líquidos.</p>

B	B1	1. Se señala que la falta de reactividad de los gases nobles se atribuyó a su configuración electrónica y llevó a Lewis y Kossel a plantear la regla del octeto.
	B2	1. La unidad didáctica se inicia indicando que ya los antiguos filósofos griegos se preguntaron por la unión de los átomos, pero que no fue sino hasta principios del siglo xx cuando se elaboró una serie de modelos (enlace iónico, covalente y metálico) basados en el modelo mecano-cuántico del átomo. 2. El texto indica que, partiendo del caso de los gases nobles, el químico norteamericano Lewis y el físico Kossel argumentaron que los elementos se enlazaban porque así conseguían una configuración electrónica como la del gas noble que tuvieran más cerca en la tabla periódica. 3. «En 1916, G. N. Lewis propuso un modelo de enlace covalente por compartición de electrones para explicar la formación de moléculas por unión de átomos de elementos no metálicos».
C	C1	1. Se apunta que las bases para explicar la formación de los enlaces iónico y covalente fueron expuestas en 1916 por Kossel y Lewis, respectivamente. Según el texto, «ambos autores atribuían la falta de reactividad mostrada por los átomos de los gases nobles a la estructura electrónica de la última capa llena que presentaban, lo que les confería gran estabilidad». 2. También se indica que «en 1916, Lewis propuso una notación abreviada aplicable a cada molécula a fin de intentar facilitar la descripción y visualización de las uniones atómicas covalentes. Actualmente, las denominamos <i>diagramas</i> o <i>estructuras de Lewis</i> ».
	C2	1. La unidad didáctica se inicia con una flecha del tiempo. 2. «En 1916, Kossel explicaba la formación de los enlaces iónicos, mientras Lewis abordaba la de los enlaces de tipo covalente». 3. «En 1921, Perkins formula el enlace covalente coordinado o dativo». 4. «Pauling propone el concepto de <i>resonancia</i> ». 5. «En 1927, Walter Heitler y Fritz London desarrollan la teoría del enlace de valencia». 6. «En 1931, Linus Pauling propone la teoría de hibridación de funciones orbitales atómicas». 7. Se apunta que el estudio de las propiedades metálicas llevó en 1902 a Drude y, posteriormente, en 1923 a Lorentz a proponer el modelo del gas electrónico o del mar de electrones.
D	D1	1. En la introducción del tema se señala que se seguirán las directrices que en 1920 dieron los químicos Kossel y Lewis. 2. En el texto se recoge que «en 1916, Lewis y Langmuir sugirieron que el enlace covalente se forma por compartición de pares electrónicos». 3. Se señala que las fuerzas intermoleculares fueron descubiertas por el holandés J. D. van der Waals. 4. En la explicación del enlace metálico, el texto indica que «en 1900, Drude propuso un modelo basado en la idea de que los átomos metálicos, al unirse, se desprenden de sus electrones de valencia. Entonces estos electrones quedan deslocalizados en la red y sin conexión alguna con los átomos, que, a su vez, quedan ionizados positivamente.
	D2	1. «En 1923, el químico norteamericano Lewis ideó la simbología para la representación bidimensional de las fórmulas». 2. «Pauling propone la teoría de enlace de valencia en 1939».