



**Máster Universitario en Formación del Profesorado de
Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato,
Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas**

Trabajo Fin de Máster

Curso 2014/2015

**UNA PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO
DEL ENLACE QUÍMICO EN EL SEGUNDO
CICLO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA
OBLIGATORIA**

Alumno: Rubén Marín Barrios

Tutor: José María Oliva Martínez

Puerto Real, Junio de 2015

El firmante de este Trabajo Fin de Máster declara que su contenido es original y de su autoría, asumiendo las responsabilidades que de cualquier plagio detectado pudieran derivarse. No obstante, quiere hacer notar que, como en todo trabajo académico, a lo largo del trabajo se incluyen ideas y afirmaciones aportadas por otros autores, acogándose en tal caso al derecho de cita.

En Puerto Real, a 16 de Junio de 2015.

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature reads "Rubén M" with a stylized flourish at the end. Below the oval, there are two vertical lines, possibly representing a date or a mark.

Firmado: Rubén Marín Barrios.

RESUMEN

El enlace químico es considerado como elemento organizador dentro de la Química y por tanto su aprendizaje en educación secundaria es fundamental para la comprensión del cuerpo epistemológico de dicha ciencia. En este trabajo se propone una unidad didáctica para 4º ESO en la que, a partir de la observación de las propiedades físicas de las sustancias, se busca que los alumnos construyan un modelo de enlace químico que permita explicar tales observaciones, utilizando el concepto de electronegatividad como elemento unificador y a la vez diferenciador de casos particulares de enlace químico.

ABSTRACT

Chemical bonding is considered as a central concept in Chemistry and therefore its learning in secondary education is critical to understand the epistemological body of this science. This work presents a didactic unit for 4th year secondary students, in which the observation of physical properties in substances would lead to the construction by students of a chemical bonding framework, looking for appropriate explanations in terms of electronegativity. This concept is envisioned as a unifying and yet differentiating element to distinguish particular cases of chemical bond.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	7
2. REFERENTES TEÓRICOS.....	9
2.1 Fundamentos epistemológicos.....	9
2.2 Fundamentos didácticos.....	12
2.2.1 Dificultades de aprendizaje	13
2.2.2 Tratamiento del enlace químico en el aula	15
3. PROPUESTA DE UNIDAD DIDÁCTICA MEJORADA	17
3.1 Justificación de la propuesta de mejora	17
3.2 Planificación de la unidad didáctica.....	20
3.2.1 Objetivos.....	21
3.2.2 Contribución al desarrollo de las competencias básicas.....	22
3.2.3 Contenidos fundamentales de la unidad.....	23
3.3 Metodología, actividades y recursos	25
3.3.1 Metodología	25
3.3.2 Trama de problemas.....	27
3.3.3 Macro- y micro-secuencias de actividades y recursos.....	27
3.3.4 Descripción de actividades organizadas por sesiones.....	31
3.3.5 El proceso de enseñanza y aprendizaje: el papel del profesor y de los alumnos.....	39
3.3.6 Atención a la diversidad y dificultades de aprendizaje.....	39
3.4 Evaluación de la unidad	41
3.4.1 Criterios de evaluación	41
3.4.2 Instrumentos de evaluación y ponderación.....	42
4. CONCLUSIONES.....	45
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
6. ANEXOS	51

6.1	Cuestionario inicial y final	51
6.2	Tareas con rúbricas asociadas.....	53
6.2.1	Tarea 1. La geoda de Pulpí	53
6.2.2	Tarea 2. Piedras preciosas, el zafiro y el rubí.....	54
6.2.3	Tarea 4. Práctica de laboratorio.....	55
6.3	Simulación analógica.....	56
6.4	Actividades de repaso	58
6.5	Examen final de la unidad	60

1. INTRODUCCIÓN

Este Trabajo Fin de Máster presenta el diseño de una unidad didáctica dedicada al Enlace Químico para 4º ESO, como mejora de la unidad didáctica del mismo tema para 3º ESO, impartida en el periodo de prácticas y discutida en la Memoria de Prácticas.

El enlace químico es considerado un elemento organizador dentro de la Química (Pauling, 1992; Gillespie, 1997), cuya comprensión es fundamental para avanzar en el estudio de esta ciencia y de otras afines como la Biología (Mondelo et al., 1994), por lo que en educación secundaria es importante la introducción de ciertos conceptos en torno a este tema que sustenten una profundización mayor en el Bachillerato y la universidad. Es decir, la trascendencia del enlace químico en el cuerpo del conocimiento científico hace necesario su tratamiento en distintos cursos de ESO y Bachillerato, con un aumento paulatino de la dificultad, siguiendo un modelo curricular en espiral.

Desde este punto de vista, en la alfabetización científica que la educación secundaria pretende conseguir para los ciudadanos de la sociedad del conocimiento (Marco-Siefel, 2000), el enlace químico adquiere un papel fundamental, puesto que además de ser requisito para la comprensión de fenómenos como la variación de energía asociada a las reacciones químicas, el plegamiento de proteínas, la actividad biológica de fármacos o la selección de materiales funcionales, también supone un estímulo intelectual en los estudiantes que ayudará a consolidar fases de desarrollo cognitivo elevadas, ya que implica el análisis y la reflexión con un nivel de abstracción elevado, para explicar propiedades físicas observables.

Por tanto el aprendizaje del enlace químico es deseable no solo en sí mismo, como concepto central en ciencia, sino como medio de contribuir al desarrollo de capacidades intelectuales, entre ellas la reflexión crítica o la argumentación, que los futuros ciudadanos deben poseer.

Estas consideraciones han sido tenidas en cuenta en la elaboración de este trabajo, que se divide en los siguientes apartados:

- ✓ Tras una breve introducción, se plantea un marco teórico de referencia, donde se recogen las ideas que articulan este trabajo, en torno al conocimiento pedagógico

del contenido, los fundamentos didácticos que sustentan la propuesta y las dificultades de aprendizaje que habrá que considerar y tratar de superar.

- ✓ La planificación de la unidad didáctica mejorada con respecto a la impartida en las prácticas, que se inicia con una justificación de la misma, continúa con el análisis curricular y la secuencia de actividades, y acaba con la evaluación del proceso y del final de la unidad. Esta nueva unidad didáctica incorpora cambios en varios aspectos fundamentales, como son:
 - El tratamiento del enlace químico como un fenómeno único.
 - La introducción de la electronegatividad como concepto clave.
 - El cambio de curso, de 3º a 4º ESO, de acuerdo con la legislación vigente.
 - El fortalecimiento del modelo constructivista de enseñanza-aprendizaje, mediante la elaboración del conocimiento científico para explicar observaciones y propiedades de las sustancias.

- ✓ Por último, unas conclusiones finales, seguidas de la bibliografía empleada en la elaboración del trabajo y de unos anexos donde se presenta el material que se entregaría a los alumnos en la implementación de esta propuesta.

2. REFERENTES TEÓRICOS

2.1 Fundamentos epistemológicos

El enlace químico o la unión entre átomos se entiende actualmente, en términos de la mecánica cuántica y de forma aproximada, como la combinación lineal de orbitales atómicos para dar lugar a orbitales moleculares de menor nivel energético, describiendo éstos la región del espacio donde con mayor probabilidad pueden encontrarse los electrones. Esta idea, que funciona bien para sistemas moleculares y puede extenderse no sin dificultades a compuestos iónicos y sustancias metálicas, es demasiado compleja en sí misma como para enseñarse en los cursos de educación secundaria, y evidentemente no fue la primera aproximación al enlace en las sustancias que inicialmente dieron los científicos preocupados por tal fenómeno, hace unos 200 años. Para comprender cómo se ha llegado a esta conceptualización, se hace a continuación un breve recorrido por la evolución histórica de los modelos de enlace químico (Chamizo, 1992; Asimov, 2006; Urbina et al., 2008; Solbes, 2010).

Aunque las primeras explicaciones al enlace químico, aportadas a finales del siglo XVIII por T. Bergman y C. L. Berthollet, apuntaban a la mecánica newtoniana y a la interacción gravitatoria, los científicos no tardaron en comprender que el fenómeno en cuestión tenía una naturaleza eléctrica, como pusieron de manifiesto W. Nicholson y A. Carlisle con la electrolisis del agua a principios del siglo XIX. Así, la idea de que la electricidad era la responsable de la unión entre los átomos se extendió por Europa hasta el punto de que J. J. Berzelius pudo elaborar una primera tabla de electronegatividades en la que asignaba carga eléctrica a determinados átomos, según la cual el enlace químico se daría por la atracción entre cargas opuestas. Sin embargo, los experimentos de A. Laurent en torno a la sustitución aromática electrofílica hacían difícil encajar esta idea de enlace químico en el ámbito de la química orgánica, pues no se comprendía que el carbono, de carga negativa, se uniera a los halógenos, también negativos.

De este modo apareció el término valencia química, propuesto por E. Frankland a mediados del siglo XIX, fruto de sus experimentos con compuestos organometálicos. Este concepto de valencia, reforzado por importantes científicos del momento como F. Kekulé, que introdujo la tetravalencia del carbono, A. M.

Butlerov, que habló por primera vez de estructura molecular, o J. H. Van't Hoff, permitió justificar muchos hechos experimentales pero no llegaba a explicar el origen del enlace.

Posteriormente se sucedieron diversos descubrimientos que llevarían a ahondar en la estructura atómica y por ende en el enlace químico. Cabe destacar los trabajos sobre conductividad y disociación de electrolitos (S. Arrhenius), el descubrimiento del electrón (J. J. Thomson), los gases nobles y su inercia química, o la teoría de coordinación (A. Werner). Ya en 1908, J. Stark apuntaba que eran los electrones de valencia, atraídos por las partes positivas de dos átomos, los responsables del enlace químico.

El conocimiento acumulado hasta ese momento fue recogido por G. N. Lewis, en 1916, cuando utilizó su modelo del átomo cúbico para explicar el enlace químico y las propiedades de las sustancias a partir de la compartición de un par de electrones, y dio como justificación la adquisición de la configuración electrónica de gas noble, de mayor estabilidad. Lewis presentó esta teoría inicialmente ante sus alumnos en la Universidad de Harvard, por lo que se intuye que surgió con una intencionalidad didáctica. Simultáneamente, W. Kossel postuló que los átomos para obtener la configuración de gas noble adquieren carga eléctrica por transferencia electrónica, formando iones, y por tanto se unen por interacción electrostática, de modo similar a Berzelius, pero sin admitir la obligación de que la especie final sea neutra, lo que daba cabida a la formación de iones complejos.

Varios años después, científicos de la talla de M. Born, F. Haber, A. Landé o E. Madelung, llegaron a calcular propiedades como la energía reticular de sólidos iónicos o el desdoblamiento de orbitales de metales de transición en un campo cristalino, utilizando el modelo de Kossel, pero su fracaso en compuestos de otros tipos, a pesar de los esfuerzos de K. Fajans, denotaban la necesidad de una teoría más completa. No obstante, los modelos de Lewis y Kossel ya habían sido reunidos en 1919 por I. Langmuir, que distinguió dos tipos de enlaces, covalente y electrovalente, explicando gran número de propiedades físicas y químicas de muchos compuestos conocidos. Además, este investigador enunció la ley del octete e introdujo conceptos como carga formal e isomería. Los trabajos de Langmuir fueron ampliamente aceptados hasta el punto de que una década después se consideraban parte del cuerpo teórico de la Química, gracias además a los

esfuerzos de N. V. Sidgwick, que ayudaron a asentar dicha teoría del enlace químico, la más utilizada para entender tal fenómeno aun en nuestro días.

No mucho más tarde, en 1927, comenzó el desarrollo de la mecánica cuántica y empieza por tanto a emplearse en la comprensión del enlace químico, entre otros principios fundamentales de la Química. Con el fundamento teórico de la nueva Física, W. Heitler y F. London propusieron la teoría de enlace de valencia, que incide en la localización de los electrones en orbitales concretos, formados por solapamiento de orbitales atómicos, mientras que R. S. Mulliken desarrollaba su teoría de orbitales moleculares, en la que los electrones se sitúan en orbitales deslocalizados sobre toda una molécula. La aplicación de la mecánica cuántica al enlace químico en sustancias más complejas que el hidrógeno fue llevada a cabo por L. C. Pauling en 1939, que además de elaborar una escala de electronegatividades de gran utilidad, continuó trabajando hasta ganar el Premio Nobel en 1954, y publicando diversos tratados en el ámbito de la química estructural (Pauling, 1973).

Ambos modelos llegan a resultados similares aun partiendo de puntos de vista diferentes, como demostró J. H. van Vleck en 1935. A pesar de ello, la teoría de enlace de valencia fue más popular durante los años 30, y la teoría de orbitales moleculares se impuso a partir de 1945, al permitir explicar el comportamiento de moléculas diamagnéticas y paramagnéticas, y extenderse al enlace en los metales, mediante la teoría de bandas propuesta por Strout. Actualmente, ambas se utilizan para explicar los distintos tipos de enlaces químicos, sin representar éstos una realidad física. Según dice Chamizo (1992), la discontinuidad en los distintos tipos de enlace representa una discontinuidad en los modelos disponibles, que responden a aproximaciones matemáticas más que a la realidad del enlace químico como tal, un fenómeno único que aun no se comprende en su totalidad.

La gran complejidad del enlace químico se pone de manifiesto en el hecho de que, a lo largo de la historia, se hayan sucedido modelos diferentes que incluso han llegado a convivir, aun correspondiendo a marcos teóricos dispares. Así, destacan los modelos clásicos basados en valencias y formación de iones; los modelos pre-cuánticos como los de Lewis y Kossel, basados en los átomos de Bohr y Sommerfeld; y los modelos cuánticos como las teorías de enlace de valencia, orbitales moleculares y bandas. Esto tiene una serie de consecuencias didácticas, ya que las dificultades en la elaboración de teorías científicas tienen un paralelismo

con las dificultades de comprensión del fenómeno del enlace por parte de los alumnos. Estas dificultades se incrementan cuando se muestran los diversos modelos de forma simultánea, sin dejar claras las utilidades y limitaciones de los mismos, y dejando escapar el sentido unitario del enlace químico como fenómeno natural (Solbes et al., 2010). Por tanto, en educación secundaria, el tratamiento del enlace a partir de una interacción eléctrica entre átomos contribuiría a formar dicha visión unitaria, para lo cual el concepto de electronegatividad, que habitualmente se reserva para el Bachillerato, podría ser de utilidad, como se discutirá más adelante en este trabajo.

2.2 Fundamentos didácticos

La investigación didáctica en las últimas décadas ha puesto de manifiesto la dificultad de conseguir un aprendizaje de las ciencias por medio del modelo de enseñanza tradicional (Pozo, 1996). En una época de cambios, en la que los conocimientos científicos de los ciudadanos adquieren una especial relevancia para la toma de decisiones y la vida en democracia (Marco-Siefel, 2000; Reid y Hodson, 1993), el centro del proceso de enseñanza y aprendizaje ya no son los contenidos conceptuales, aprendidos tradicionalmente de forma mecánica y haciendo uso exhaustivo de la memoria, sino que se pretende un equilibrio junto con contenidos procedimentales y actitudinales, encaminados al desarrollo de competencias básicas para desenvolverse en una sociedad cada vez más compleja (Reid y Hodson, 1993; Pro, 1988).

En este sentido, la unidad didáctica que se propone en este trabajo adopta una metodología basada en el modelo socio-constructivista (Driver, 1994; Posner et al., 1982; Coll et al, 2000), que partiendo de las ideas de Ausubel et al. (1989) sobre el aprendizaje significativo, duradero y útil al estar integrado en el esquema de pensamiento del individuo, trata de establecer puentes que conecten los conocimientos previos y las ideas intuitivas de los estudiantes con los conceptos nuevos que se tratan de introducir. Dentro de este modelo de aprendizaje constructivista, el individuo que aprende tiene un papel activo en la construcción de significados, siendo por tanto corresponsable de su aprendizaje, el cual es entendido como un proceso social y colectivo, donde el trabajo colaborativo adquiere una gran relevancia.

Una manera de poner en práctica el aprendizaje según el constructivismo es el modelo de enseñanza por cambio conceptual (Driver 1986, 1988), el cual se pondrá de manifiesto en la planificación de la unidad didáctica de que trata este trabajo. En este sentido, la explicitación de las ideas previas de los estudiantes será un punto de partida clave para provocar un conflicto cognitivo ante situaciones que no puedan ser explicadas con dichas ideas y preconcepciones. Los propios alumnos serán conscientes de la necesidad de un modelo científico más preciso para explicar los fenómenos planteados, y ello llevará a la incorporación de nuevos conceptos que posteriormente se validarán en actividades de aplicación, permitiendo a cada uno constatar la utilidad de lo aprendido. Para conseguir el aprendizaje y los objetivos propuestos, se diseñarán actividades y tareas significativas para los alumnos, se seleccionarán los recursos adecuados y se evaluará de forma coherente con el modelo de enseñanza-aprendizaje seleccionado.

2.2.1 *Dificultades de aprendizaje*

A las edades comprendidas entre los 15 y los 16 años se pretende que los alumnos sean capaces de alternar el enfoque macroscópico que hasta el momento han empleado en el estudio de los sistemas materiales, con el enfoque sub-microscópico que se ha venido introduciendo en niveles educativos anteriores, mediante el concepto de enlace químico, la elaboración de un modelo para el mismo y la justificación de las propiedades físicas desde la perspectiva de la unión entre los átomos. Además, con la introducción de la formulación y nomenclatura de compuestos binarios, que posteriormente se deberá ampliar a todos los compuestos inorgánicos, se hará uso del lenguaje simbólico propio de la Química, que habitualmente comienza a trabajarse mediante la representación de los elementos químicos en la tabla periódica, lo que conlleva una profundización en este nivel de abstracción en ciencia para el alumno.

Todo ello implica una serie de dificultades asociadas al nivel de desarrollo cognitivo en que se encuentra el alumnado de entre 15 y 16 años, correspondiente al pensamiento formal inicial, que comenzó a aparecer al principio de la educación secundaria y que debería consolidarse al final de la misma. Por tanto, para el promedio del grupo-clase en este rango de edades, se empleará como referencia dicho estadio formal inicial (véase la tabla de Shayer y Adey, 1984, para Química),

aprovechando la gran oportunidad que el enlace químico ofrece para reforzar el desarrollo cognitivo, al estimular el razonamiento abstracto y el empleo de modelos sub-microscópicos.

Aprendizajes previos	Dificultades de aprendizaje	
	Carencias y dificultades generales	Concepciones alternativas asociadas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Clasificación y estructura de la materia, átomos y moléculas, teoría atómica, sistema periódico (esenciales para comprender las formas en que distintos tipos de átomos se combinan entre sí, asociar el enlace a un fenómeno electrónico, que da lugar a elementos y compuestos tan diversos). ▪ Estados de la materia, cambios de estado, propiedades de gases, líquidos y sólidos, teoría cinético-molecular (contenidos necesarios para afrontar la introducción a las fuerzas intermoleculares). ▪ Disoluciones, solubilidad y saturación (elemento distintivo de sustancias iónicas y algunas covalentes moleculares). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Confusión entre elemento como clase de átomo y elemento como sustancia química real, formada por moléculas; o entre mezcla y compuesto químico. ▪ Comprensión inadecuada de la periodicidad de las propiedades, como por ejemplo el carácter metálico. ▪ Dificultad en la clasificación como sólidos de sustancias no rígidas (sólidos deformables o blandos). Identificación de sólidos covalentes atómicos como sustancias moleculares. ▪ Dificultad para asimilar los conceptos de formación de iones (su existencia en estado sólido), de red cristalina y de compartición de electrones. ▪ Confusión entre fuerzas intermoleculares y enlaces químicos entre átomos. Dificultad para explicar puntos de fusión o cambios de estado en términos de fuerzas intermoleculares y teoría cinético-molecular. ▪ Dificultad en la aplicación de modelos para interpretar fenómenos, hacer predicciones o para clasificar las sustancias según el enlace químico que presentan. ▪ Interpretación sesgada de fórmulas químicas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Persistencia de la representación macroscópica de la materia (continua, estática y sin espacios vacíos entre sus partes). ▪ Asumido el modelo corpuscular de la materia, concesión de propiedades macroscópicas a las partículas que componen los sistemas materiales (color, maleabilidad...). ▪ Consideración del aire como algo inmaterial, sin propiedades como masa o volumen, o como una sustancia pura en lugar de una mezcla de gases. ▪ Traslación de la mecánica macroscópica al mundo microscópico: inestabilidad de átomos aislados en estado gaseoso debida al movimiento de las partículas (en general, los gases son inestables porque se mueven). ▪ Existencia de un campo de atracción de los átomos que los lleva a unirse. ▪ Pensamiento teleológico: los átomos <i>quieren</i> formar enlaces. ▪ Asumida la noción de molécula, aplicación de la misma a los compuestos iónicos. ▪ Reconocimiento de sólo dos tipos de enlaces químicos, iónico y covalente, visto éste como más débil.

Tabla 1. Principales dificultades de aprendizaje.

En concreto, en el tratamiento del enlace químico se toman como punto de partida ciertos contenidos que se han trabajado anteriormente, pero que probablemente no hayan sido aprendidos de forma significativa por el conjunto del

grupo-clase, y se empiezan a construir nuevos conceptos clave que permitan avanzar en etapas educativas posteriores. En la **Tabla 1** se detallan algunos aprendizajes previos necesarios para el tratamiento de esta unidad didáctica, las posibles dificultades o carencias que se pueden encontrar durante su desarrollo, y las preconcepciones asociadas a dichos contenidos (Kind, 2004; Özmen, 2004; Trinidad-Velasco y Garritz, 2003; de Posada, 1999).

Por otro lado, es importante tener en cuenta no solo las preconcepciones que los alumnos pueden traer, sino también aquellas posibles ideas alternativas y errores conceptuales que según la bibliografía persisten entre el alumnado a lo largo de la educación formal (Riboldi et al., 2004; de Posada, 1999). Puesto que el enlace químico es un concepto abstracto y los alumnos tienen un escaso contacto con él en la vida cotidiana, puede considerarse el ámbito escolar como la principal fuente de dichas ideas alternativas (García y Garritz, 2006). Por este motivo, el conocimiento de las ideas previas que presentan alumnos de Bachillerato y primeros cursos universitarios puede ser útil para evitar su introducción en el aula de secundaria, y con este fin se han incluido las más destacadas en la **Tabla 1**.

2.2.2 Tratamiento del enlace químico en el aula

Como se mencionó en la introducción, el enlace químico es un concepto central en la comprensión de la Química (Pauling, 1992; Gillespie, 1997), sin embargo, el marco teórico que actualmente lo sustenta, la mecánica cuántica, con todas sus limitaciones, es demasiado complejo para ser empleado en la enseñanza del mismo en la educación secundaria o incluso en los primeros cursos universitarios (Hurst, 2002; Levy et al., 2008).

Por ello, la tendencia general en la enseñanza del enlace químico ha sido buscar un marco de trabajo más intuitivo, bien fundamentado en principios científicos, pero que a la vez sea útil y accesible. A pesar de ello, en la enseñanza tradicional no siempre se logra el aprendizaje de los alumnos al presentar simultáneamente diversos modelos y tipos de enlace, con interconexiones difíciles de entender (Weinhold, 1999). Por este motivo, algunos autores empezaron a plantear la necesidad de encontrar un marco de referencia para el enlace químico, un modelo unitario que sea accesible a los alumnos y que permita sistematizar el estudio de las

sustancias y las propiedades en términos del enlace químico (Levy et al., 2010; García y Garritz, 2006; Riboldi et al., 2004; Borsese, 1995).

En este contexto, la electronegatividad aparece como concepto integrador que podría permitir la racionalización del enlace químico (Sproul, 2001). Así, la diferencia de electronegatividad entre dos átomos se puede calcular para predecir de forma aproximada el porcentaje de carácter iónico o de carácter covalente que tiene un enlace. Si además se tienen en cuenta los valores medios de electronegatividades, se puede determinar si una sustancia es esencialmente covalente, iónica o metálica (Sproul, 1993). No obstante, son los valores absolutos de electronegatividades los que permitirían hacer una clasificación más precisa de las sustancias en alguna de las categorías clásicas; iónicas, moleculares, atómicas o metálicas, que sólo fallaría en sustancias donde participen elementos de transición (Sproul, 1994), aunque esta forma de manejar los datos resultaría demasiado compleja para el segundo ciclo de secundaria.

A pesar de todas sus limitaciones, la electronegatividad puede ser un concepto que, para los primeros cursos donde se estudia el enlace químico, permita establecer esa matriz conceptual única necesaria para que los alumnos entiendan y manejen el enlace químico, desde una perspectiva cualitativa e incidiendo en las propiedades físicas de las sustancias. De esta manera se evitarían las confusiones que introducen tantos modelos, poco relacionados entre sí, para explicar versiones de un mismo fenómeno, tal como se ha venido haciendo tradicionalmente. Siguiendo por tanto esta premisa, se aborda el rediseño de la unidad didáctica de que trata este trabajo.

3. PROPUESTA DE UNIDAD DIDÁCTICA MEJORADA

En este apartado se describe la propuesta de mejora para la unidad didáctica *Enlace Químico*, dirigida a 4º ESO, dentro de la asignatura de Física y Química, con 3 horas semanales y de carácter optativo.

3.1 Justificación de la propuesta de mejora

La propuesta que se realiza en este Trabajo Fin de Máster constituye una mejora respecto a la unidad didáctica diseñada e implementada durante el periodo de prácticas en un instituto de educación secundaria. A lo largo de dichas prácticas, se pretendió llevar a cabo una estrategia docente enmarcada en el constructivismo. En este sentido se llevaron a cabo actuaciones como el fomento de la participación y de una actitud favorable del alumnado hacia la ciencia, la realización de tareas significativas y sin una solución única o cerrada, el acercamiento de conceptos abstractos mediante modelos, demostraciones y sesiones de laboratorio, etc. No obstante, la verdadera filosofía del constructivismo, que implica dar la oportunidad para que los alumnos elaboren el conocimiento científico, dejando al profesor un papel de guía en un camino gradual hacia tal fin, no se materializó totalmente en el día a día.

Si bien es cierto que las ideas previas de los estudiantes se tuvieron en cuenta para dar un enfoque de cambio conceptual a la unidad didáctica, insistiendo en los conceptos clave que más problemáticos resultan, no se dio ocasión suficiente a los alumnos para que ellos elaborasen los modelos de enlace químico. Se propone ahora partir de la observación del comportamiento de sustancias cercanas como la sal común, el azúcar, el alcohol etílico, el cobre..., y por medio de preguntas adecuadas, llegar a una construcción de un modelo de enlace, surgiendo los contenidos científicos de la experiencia y la reflexión de los propios alumnos.

En su momento, esto no se llevó a cabo, sino que los modelos se presentaron ya elaborados, aunque acompañados de cuestiones, preguntas y actividades que ayudasen a acomodar adecuadamente dichos contenidos en la estructura cognitiva de cada uno. La metodología puesta en marcha no fue un fracaso ya que un 83% de los alumnos superaron con éxito la evaluación, pero no se puede asegurar que el aprendizaje fuese real y significativo, duradero en el tiempo, sino que podría

representar más bien un esfuerzo memorístico, al que los alumnos están más acostumbrados, por lo que es conveniente un cambio en la estrategia didáctica.

Por otro lado, la unidad impartida durante las prácticas compartía el estilo habitual de los libros de texto en uso, donde el enlace químico se presenta con un marcado carácter teleológico y distinguiendo distintos modelos (iónico, covalente y metálico) que más que representar aspectos de un mismo fenómeno, se perciben como diferentes fenómenos aislados.¹ Recientes publicaciones apuntan a la necesidad de modificar este planteamiento del enlace químico en las aulas, sobre todo en los niveles iniciales, puesto que la manera tradicional de enseñanza da lugar a diversas malinterpretaciones e introduce ideas alternativas que solo un cierto porcentaje de alumnos consigue superar al finalizar el Bachillerato (Riboldi et al., 2004; García y Garritz, 2006; Levy et al., 2010).

Esto se materializó en el centro de enseñanza, pues en un intento por hacer accesibles los conocimientos a los alumnos, en ciertas ocasiones se simplificó hasta el límite que el conocimiento científico permite, incurriendo inintencionadamente en la formación de ideas alternativas entre algunos alumnos. Aunque los resultados no permiten establecerlo con claridad, es fácil intuir que las ideas clave en torno al enlace químico siguen sin tener un lugar apropiado en los esquemas de pensamiento del alumnado con el que se llevó a cabo la intervención didáctica (entre ellas, la unión de átomos dirigida por la estabilidad, la relación entre las propiedades y la forma en que los átomos se unen, la presencia de iones y no moléculas en los cristales iónicos, o la existencia de fuerzas intermoleculares). Sin embargo, un cierto grado de simplificación en 3º ESO sigue siendo fundamental, puesto que es el primer curso donde el concepto del enlace químico se trabaja y, dada su gran complejidad e importancia dentro del cuerpo epistemológico de la Química (Pauling, 1992), es preciso ir introduciéndolo paso a paso, incrementando el nivel de precisión y profundidad en los cursos siguientes.

Ante este panorama, la literatura recomienda buscar un enfoque unitario del enlace químico, insistiendo en la estabilidad energética como justificación de la unión de los átomos, recurriendo a la regla del octete sólo como una herramienta y dejando claras sus limitaciones, así como el carácter aproximado de los distintos

¹ Como ejemplo se puede consultar: ZUBIAURRE, S., MORALES, A. M., ARSUAGA, J. M. y PÉREZ, A. (2011). *Física y Química 3º ESO*, pp. 100-111. Madrid: Grupo Anaya.

modelos, a la vista de la multitud de excepciones conocidas. Existen, en cambio, discrepancias entre un proceso de enseñanza-aprendizaje como cambio conceptual, dirigido por la observación macroscópica para llegar a la elaboración de modelos (García y Garritz, 2006); y una aproximación *de abajo a arriba (bottom-up)*; Levy et al., 2008) que parte de las propiedades básicas de los átomos para dar explicaciones a las propiedades de las sustancias.

Todas estas ideas recabadas de la bibliografía pueden sintetizarse en una conclusión a la que llega Riboldi et al. (2004):

“[...] la transposición didáctica del paradigma del enlace químico [...] está dificultada por el mismo modelo. Es de esperar que en los próximos años los químicos seamos capaces de generar una nueva estructura conceptual que trate de explicar de un modo más simple que la mecánica cuántica algo tan complejo como las uniones químicas” (p. 200).

En esta cita literal se inspira la mejora de la unidad didáctica que se presenta como Trabajo Fin de Máster. Con todo ello, los cambios que se realizan en esta unidad didáctica mejorada son los siguientes:

- ✓ En primer lugar, un cambio de nivel educativo, pues en el currículum oficial vigente este curso académico (BOE núm. 174, de 21 de julio de 2007)² el enlace químico se sitúa en 4º ESO, y no en 3º ESO, curso donde se impartió la unidad durante las prácticas. Son muchos los centros que abordan el enlace químico en 3º ESO, tal vez porque la mayoría de los libros de texto para este curso lo incluyen. No obstante, en 3º ESO es suficiente con la idea intuitiva de que los átomos se unen para completar el programa oficial y es en 4º ESO donde se puede profundizar hasta donde el desarrollo cognitivo de los alumnos permite.
- ✓ Por otro lado, se pretende en esta propuesta unificar la conceptualización del enlace químico, partiendo de las ideas mostradas en los referentes teóricos. Es decir, se busca el aprendizaje de un marco conceptual único para el enlace químico, como un fenómeno de carácter electromagnético, y huir de la exposición

² Se hace referencia aquí a la LOE, vigente en el curso 2014/2015, si bien está prevista la implementación de la LOMCE para el curso que viene.

de modelos aislados y poco relacionados que conducen a la idea de diferentes tipos de enlaces químicos, lo cual no corresponde con el conocimiento científico aceptado.

- ✓ En 4º ESO se propone en este trabajo la introducción del concepto de electronegatividad, que permitirá distinguir casos particulares dentro del marco conceptual único indicado en el punto anterior (Sproul, 2001). Así, comprendido el enlace como la unión dirigida por la estabilidad y provocada por la atracción de electrones y núcleos atómicos, las electronegatividades de los átomos participantes permitirá abordar distintos *casos particulares* de enlace químico.
- ✓ Otro cambio significativo se encuentra en la aproximación a los contenidos. Durante las prácticas, los modelos de enlace químico se presentaron ya elaborados, pasando del estudio a nivel atómico a una justificación de propiedades en las sustancias. Ahora se propone comenzar con la observación de propiedades diversas para dar la oportunidad a los alumnos de elaborar, bajo la guía del profesor, el mencionado modelo unitario de enlace químico. Se pretende que los alumnos construyan el conocimiento científico, elaboren explicaciones abstractas a partir de la experiencia, y con ellas vuelvan a experimentar y razonar conforme al modelo elaborado. Todo ello implica una modificación estructural en la articulación de los contenidos y en la secuencia de actividades.

Estos cambios se describirán en los apartados siguientes, dedicados a la planificación de la unidad didáctica, la secuencia de actividades y la evaluación.

3.2 Planificación de la unidad didáctica

La unidad didáctica *Enlace Químico* en 4º ESO se dedica al estudio de los enlaces químicos que se producen entre átomos del mismo tipo (dando lugar a elementos) o de distinto tipo (dando lugar a compuestos), entendiendo el enlace como un proceso vinculado a los electrones situados en la capa de valencia y dirigido por la estabilidad que adquieren los átomos intervinientes.

La clasificación de las sustancias puras (cristales iónicos, sustancias moleculares, cristales atómicos y elementos metálicos) según sus propiedades, especialmente estado físico, solubilidad y conductividad, observables desde un punto de vista macroscópico, se interpretarán a nivel sub-microscópico, lo que dará lugar al modelo de enlace químico y al estudio de casos particulares definidos por las electronegatividades de los átomos participantes.

Esta unidad didáctica se integra en el Bloque 4 de contenidos para 4º ESO, según BOE núm. 174, de 21 de julio de 2007 (estructura y propiedades de las sustancias; transformaciones químicas; iniciación al estudio de la química orgánica). En este bloque, el enlace químico se sitúa a continuación del estudio de la estructura atómica y del sistema periódico, introducidos ya en el curso anterior; y justo antes del tratamiento del cambio químico en mayor profundidad, con la introducción de cálculos estequiométricos y de la química orgánica.

3.2.1 *Objetivos*

- ✓ **Comprender** que los átomos se combinan mediante enlaces químicos, entendidos como procesos electrónicos. **Conocer** y **justificar** las propiedades físicas de las sustancias iónicas, covalentes moleculares, covalentes atómicas y metálicas, en términos del enlace químico, y entender el significado de sus respectivas fórmulas químicas.
- ✓ **Resolver** problemas relacionados con la clasificación de las sustancias puras en función del enlace y de las propiedades físicas, aplicando estrategias coherentes con los procedimientos propios de las ciencias. **Diseñar** y **realizar** experimentos sencillos de verificación de dichas propiedades.
- ✓ **Comprender, interpretar** y **utilizar** los modelos de enlace químico, así como **comunicar** de forma oral y escrita argumentaciones y explicaciones para la clasificación de las sustancias puras a partir de sus propiedades.
- ✓ **Valorar** la importancia de la comprensión del enlace químico y las propiedades de algunos elementos y compuestos químicos de relevancia en la vida cotidiana, en el desarrollo tecnológico, en la salud y en el medio ambiente.

- ✓ **Buscar, seleccionar, procesar y comunicar** información científica relacionada con el enlace químico y la clasificación de las sustancias.

3.2.2 *Contribución al desarrollo de las competencias básicas*

A continuación se detallan los aprendizajes que se pretende alcanzar con esta unidad didáctica, clasificados en las distintas dimensiones que abarca la competencia científica (conocimiento e interacción con el medio físico y natural). A su vez, se indica la contribución de esta unidad didáctica a las demás competencias básicas, con las siglas entre paréntesis.³

✓ **Conocimientos científicos (saber ciencias)**

- La diversidad de sustancias puras: cristales iónicos, sustancias moleculares, cristales atómicos y elementos metálicos.
- Concepto de enlace químico. La electronegatividad. Los gases nobles y la regla del octete.
- Justificación de propiedades físicas: los distintos casos de enlace químico:
 - El caso o enlace iónico. Cesión/ganancia de electrones (cationes/aniones). Significado de la fórmula química.
 - El caso o enlace covalente. Diagramas de Lewis. Introducción a las fuerzas intermoleculares. Cristales covalentes atómicos.
 - El caso o enlace metálico.

✓ **Habilidades y destrezas científicas (saber hacer ciencias)**

- Formular preguntas e hipótesis científicas, identificar variables y relaciones entre ellas (CCL, CM).
- Diseñar experiencias sencillas para el estudio de las propiedades de las sustancias, seleccionando el instrumental adecuado y aplicando las normas de seguridad (CAA).
- Medir, organizar e interpretar los datos, para elaborar conclusiones con las que reflexionar y argumentar sobre los tipos de enlace en distintas sustancias puras (CCL, CM).

³ Las siglas empleadas son las siguientes: CCL, Competencia en comunicación lingüística; CM, Competencia matemática; TICTD, Tratamiento de la información y competencia digital; CSS, Competencia social y ciudadana; CCA, Competencia cultural y artística; CAA, Competencia para aprender a aprender; AIP, Autonomía e iniciativa personal.

- Desarrollar actitudes científicas como la curiosidad, el rigor, el orden o la capacidad de trabajo en equipo (CSC, AIP).
 - Emplear modelos analógicos y digitales para la interpretación sub-microscópica de propiedades según el enlace (TICD, CAA).
 - Emplear el lenguaje simbólico para la representación de fórmulas químicas, entendiendo su significado (TICD).
 - Buscar, procesar y comunicar de forma oral y escrita información científica, manejando la terminología adecuada (CCL, TICD).
- ✓ **Aprendizaje sobre la naturaleza de la ciencia (saber sobre la ciencia)**
- Comprender la utilidad de modelos en la interpretación del enlace químico y de las propiedades de las sustancias (CAA).
 - Entender el carácter aproximado de los modelos estudiados, diferenciándolos de la realidad, estableciendo su rango de aplicación y sus limitaciones (CAA).
- ✓ **Actitudes y valores, participación en contextos (saber actuar en ciencia)**
- Respetar a los demás y los bienes de uso común, mostrando un respeto por las normas de seguridad y una actitud favorable hacia la actividad científica (CSC, AIP).
 - Reconocer la necesidad de conocer las propiedades de las sustancias a partir de su enlace químico para la elaboración de nuevos materiales más eficientes y respetuosos con el medio ambiente (CSC).
 - Aplicar los conocimientos adquiridos en el análisis crítico de situaciones concretas y la toma de decisiones como la elección de un material para una determinada finalidad; por ejemplo, aislante o conductor de la electricidad (AIP).

3.2.3 *Contenidos fundamentales de la unidad*

Los contenidos fundamentales se recogen en el mapa conceptual de la unidad (**Figura 1**), donde se establecen las relaciones existentes entre ellos. De acuerdo con el mismo, la observación de propiedades físicas como la solubilidad en agua o la conductividad, dará lugar a una deducción del tipo de partículas que integran a las distintas sustancias puras (iones, moléculas, átomos), lo cual se relacionará con el

modo en que éstas se unen. Así, el enlace químico se presentará como un fenómeno único, de carácter electromagnético, del que podrán distinguirse casos particulares en función de la diferencia de electronegatividades entre los átomos participantes, un concepto clave en la unidad didáctica.

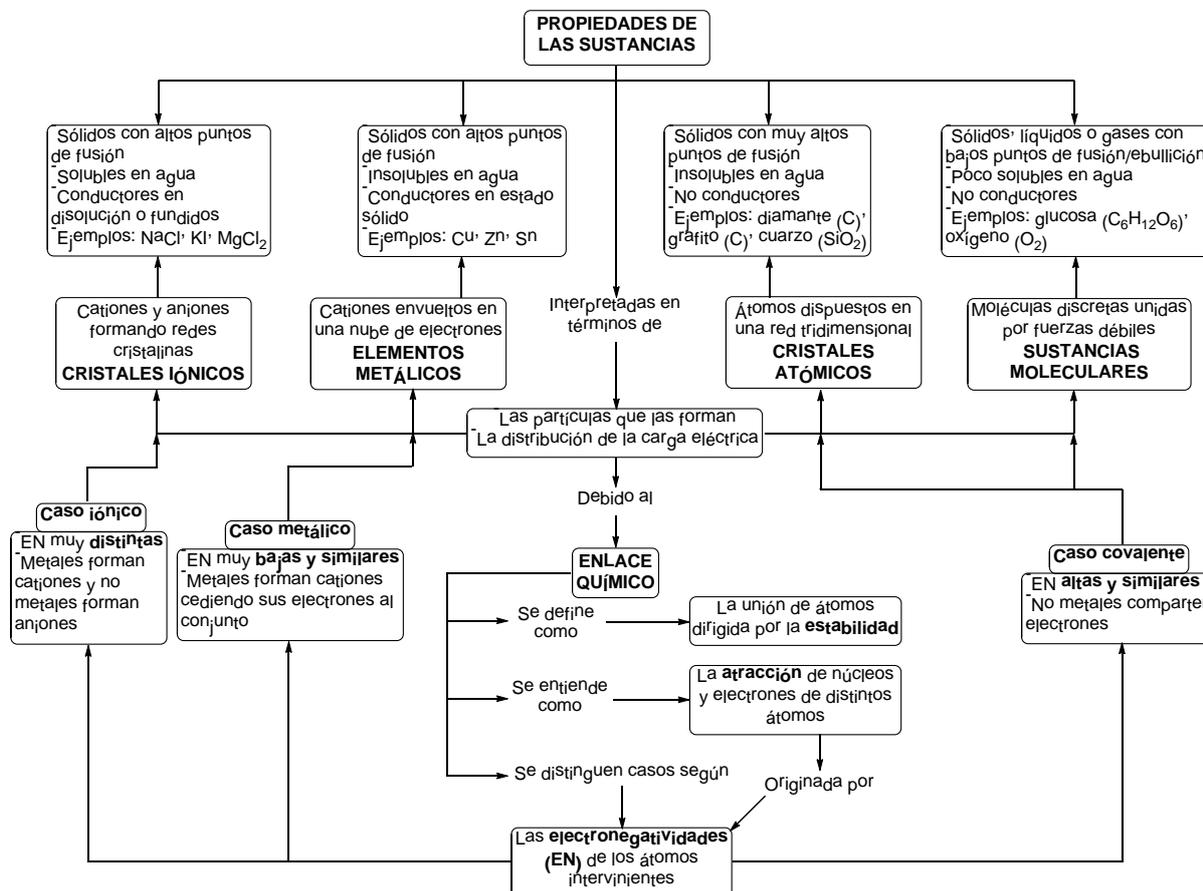


Figura 1. Mapa conceptual de la unidad.

A continuación se enumeran los epígrafes de los que consta la unidad didáctica:

- ✓ La gran diversidad de las sustancias puras: cristales iónicos, sustancias moleculares, cristales atómicos y elementos metálicos.
- ✓ Concepto de enlace químico: los átomos unidos son más estables.
 - La distribución de la carga eléctrica en las sustancias.
 - La electronegatividad de los átomos.
 - Los gases nobles y la regla del octete.
- ✓ Justificación de propiedades físicas: los distintos casos de enlace químico.

- Cuando los átomos que se enlazan tienen electronegatividades muy distintas: caso iónico.
 - Aplicación de la regla del octeto: formación de iones.
 - Cuando los átomos que se enlazan tienen electronegatividades altas y similares: caso covalente.
 - Aplicación de la regla del octeto: los diagramas de Lewis.
 - Breve introducción a las fuerzas intermoleculares.
 - Cristales covalentes atómicos: el diamante, el grafito y el cuarzo.
 - Cuando los átomos que se enlazan tienen electronegatividades bajas y similares: caso metálico.
- ✓ De vuelta al inicio: comparación de las propiedades y el enlace en las sustancias puras.

3.3 Metodología, actividades y recursos

3.3.1 Metodología

La metodología de intervención didáctica se enmarcará en el constructivismo, con un enfoque intermedio entre el cambio conceptual, pues se tendrán en cuenta las ideas previas de los estudiantes para provocar un conflicto cognitivo que derive en un aprendizaje significativo; y un enfoque de resolución de problemas, ya que se plantearán actividades investigativas donde el alumno ejerza un papel activo.

Como punto de partida se tomará el estudio experimental de las propiedades de algunas sustancias, seleccionadas para poder establecer comparaciones y llegar a conclusiones relacionadas con la distribución de la carga eléctrica en las partículas que las constituyen. Se hará especial hincapié en los puntos de fusión y ebullición, que se consultarán en fuentes de información, la solubilidad en agua y la conducción de la corriente eléctrica. A partir de la experiencia se formularán preguntas, se plantearán discusiones y argumentaciones entre los alumnos. Es en este momento cuando las ideas previas en torno a los conceptos tratados aflorarán y deberán ser contrastadas.

Seguidamente, se dará ocasión a los alumnos a elaborar un modelo sub-microscópico que permita explicar la diversidad de propiedades observadas, guiados a través de preguntas, realizadas por el profesor, hacia los conceptos de enlace

químico, estabilidad y electronegatividad, para dar lugar al estudio de los tipos de enlace como casos particulares dependientes de la relación de electronegatividades de los átomos intervinientes. La comparación de la mayoría de elementos y compuestos en la naturaleza, con los gases nobles, que se encuentran como átomos aislados, permitirá introducir la regla del octete, destacando el alcance y las limitaciones de la misma, pero su utilidad práctica para la formación de iones o de moléculas.

Una vez elaborado un modelo de enlace químico, y según se analicen los distintos casos o enlaces (iónico, covalente y metálico) se retomarán las propiedades de las sustancias, ahondado en explicaciones para las mismas. De este modo, se prevé que los alumnos vayan descendiendo desde el nivel macroscópico al atómico, y de ahí sean capaces de cambiar de escala de acuerdo a las necesidades del contexto en el que se formulen preguntas y problemas, manteniendo una coherencia con el conocimiento científico.

Junto con la estrategia de intervención didáctica indicada, se buscará favorecer una actitud positiva hacia la materia, y en consecuencia contribuir en la alfabetización científica. Para tal fin, se otorgará al alumno el protagonismo en el proceso de enseñanza y aprendizaje, de tal modo que se fomentará tanto en el aula como en el laboratorio la participación de los estudiantes en el desarrollo de las sesiones, dándoles un papel activo en la construcción del conocimiento del que trata la unidad.

Por otro lado, se intentará situar las explicaciones en la vida cotidiana, mostrar ejemplos que atraigan la atención y acercar los contenidos a la realidad de los estudiantes. Además, se propondrán actividades dentro de un contexto próximo a la realidad, que constituyan tareas significativas para los alumnos, es decir, aquéllas cuya resolución suponga un desafío intelectual y a la vez ponga de manifiesto la utilidad de la ciencia en la resolución de problemas o situaciones reales.

Las tecnologías de la información y de la comunicación tendrán también un peso importante en el desarrollo de la unidad didáctica, tanto al ser un recurso necesario para conseguir los objetivos educativos como al constituir un elemento motivador para los alumnos.

Por último, se prevé el desarrollo de, al menos, dos sesiones de laboratorio en las que los alumnos habrán de poner en práctica destrezas propias del trabajo

científico, como el diseño experimental, la formulación de hipótesis, la obtención de datos, la extracción de conclusiones y la argumentación, fuera del entorno convencional de aula. En general, los alumnos disfrutaban de las sesiones de laboratorio, ya que el aprendizaje se produce de un modo más activo, ofreciendo además la oportunidad de aprender unos de otros mediante el trabajo en equipos. El laboratorio por tanto constituye un elemento fundamental para el desarrollo de actitudes favorables en las materias científicas.

3.3.2 Trama de problemas

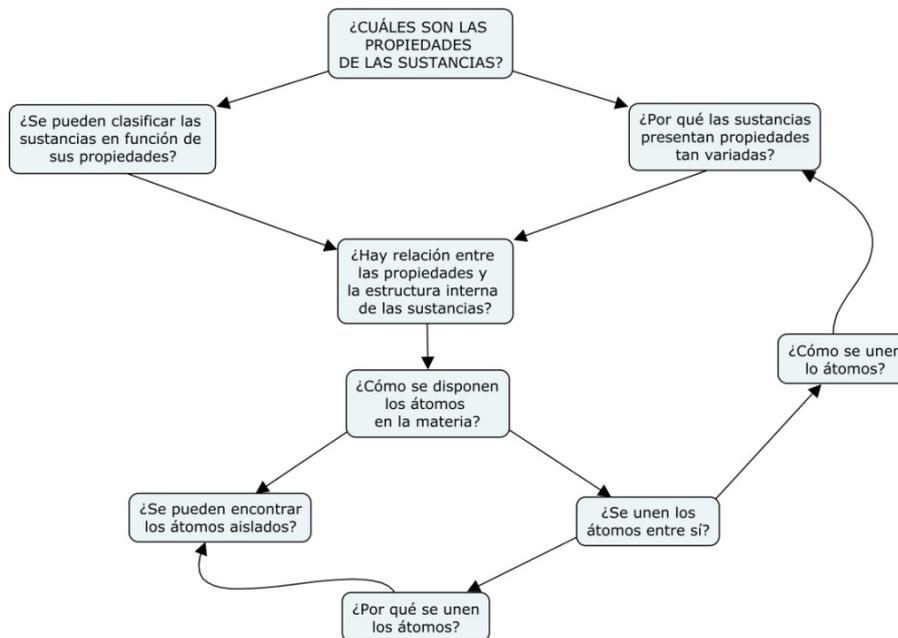


Figura 2. Trama de problemas.

En la **Figura 2** se recoge la trama de problemas con la que se abordará la unidad didáctica, a modo de cuestiones generales a las que en la secuencia de actividades se tratará de dar respuesta. Estas cuestiones están interrelacionadas, como trata de mostrarse en la trama indicada.

3.3.3 Macro- y micro-secuencias de actividades y recursos

De acuerdo con los principios metodológicos indicados, al comienzo de la unidad se llevarán a cabo actividades de iniciación, donde se intentará provocar curiosidad e interés en torno a la unidad didáctica, mediante ejemplos cercanos como la

composición de los alimentos, el cuerpo humano, las salinas, fotos de minerales llamativos, etc.

A continuación se plantearán en el aula actividades que permitan introducir los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales de la unidad, con énfasis en el empleo de representaciones y modelos para el enlace químico, así como de reestructuración de conceptos anteriores.

También se prevén actividades de aplicación, donde los estudiantes desarrollen habilidades investigativas, en concreto de búsqueda, selección y presentación de la información; y el diseño, realización y extracción de conclusiones a partir de experiencias de laboratorio.

Para finalizar, en las últimas sesiones se realizarán actividades de revisión, para reflexionar sobre lo aprendido, repasar los conceptos más importantes y constatar el aprendizaje conseguido, tanto el alumnado como el profesor.

En las tablas siguientes se recogen las actividades a realizar y los recursos necesarios para ello, organizados según la macro-secuencia de la unidad didáctica y en las micro-secuencias de cada sesión.

FASE DE INICIACIÓN (sesión 1)	
¿Cuáles son las propiedades de las sustancias? ¿Cómo se clasifican las sustancias según sus propiedades? ¿Por qué son tan variadas las propiedades de las sustancias? ¿Hay alguna relación con la estructura interna?	
RECURSOS	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Laboratorio de Química ▪ Pizarra, proyector y ordenador con conexión a internet (disponer de tabla periódica en vista panorámica, acceder a contenidos en la red y dar a conocer el Foro). ▪ Material para el alumno recogido en el anexo. 	
TAREAS A REALIZAR	INTENCIONES DIDÁCTICAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cuestionario inicial. ▪ Experiencia de laboratorio para la observación de propiedades de distintas sustancias (sal común, azúcar, etanol, gel de sílice y cobre). ▪ Reflexión y discusión grupal tratando de explicar las observaciones realizadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Poner de manifiesto las ideas previas. ▪ Revisar los conocimientos iniciales necesarios para abordar la unidad. ▪ Relacionar los contenidos de la unidad con los de unidades anteriores y de otras áreas. ▪ Hacer surgir en los alumnos la idea de enlace químico, y afianzar el concepto. ▪ Atraer la atención del alumnado con una sesión práctica y participativa, en el laboratorio.

Tabla 2. Fase de iniciación.

FASE DE INTRODUCCIÓN DE CONCEPTOS Y REESTRUCTURACIÓN (sesiones 2, 3, 4 y 5)
¿Cómo se disponen los átomos en la materia? ¿Se unen los átomos entre sí? ¿Cómo se unen? ¿Por qué se unen? ¿Pueden encontrarse los átomos aislados? ¿Cómo explica todo ello la diversidad de propiedades en las sustancias?

RECURSOS

- Pizarra, proyector y ordenador con conexión a internet (disponer de tabla periódica en vista panorámica, acceder a contenidos en la red y en el Foro).
- Etiquetas de alimentos para analizar la composición nutricional.
- Algunos minerales para la observación en el aula.
- Un matraz cerrado con I₂ y mechero para observar la sublimación.
- Modelos de bolas y palillos.
- Material para el alumno recogido en el anexo.

TAREAS A REALIZAR

- **Iniciación:** Torbellino de ideas sobre los átomos en la atmósfera, el cuerpo humano, los alimentos...
- **(Re)-estructuración:** partiendo de la experiencia, reflexión y actividades sobre los tipos de partículas que forman las sustancias y la distribución de la carga eléctrica en ellas. Introducción del concepto de electronegatividad y de enlace químico. Reflexión sobre los gases nobles y planteamiento de la regla del octete.
- **En casa:** Búsqueda en casa de imágenes llamativas de minerales para el Foro de la unidad en Moodle.

INTENCIONES DIDÁCTICAS

- Evaluar el valor explicativo de las ideas previas y contrastarlas entre compañeros.
- Poner de manifiesto la necesidad de un modelo que explique mejor las observaciones realizadas.
- Introducir los conceptos de enlace químico, estabilidad y electronegatividad.
- Elaborar de forma conjunta un modelo unitario del enlace químico.
- Presentar la regla del octete como herramienta de trabajo destacando sus limitaciones.
- Motivar al alumnado con una sesión participativa y con la búsqueda de imágenes para conectar con la siguiente sesión.

- **Iniciación:** visionado y comentario sobre las imágenes de minerales en el Foro.
- **(Re)-estructuración:** reflexión y actividades sobre las sustancias iónicas, la distribución de la carga eléctrica en ellas y cómo se puede explicar en términos del enlace químico. Estudio de la estructura cristalina y propiedades de los compuestos iónicos mediante modelos con bolas y palillos. Actividades de formulación y nomenclatura de compuestos binarios.
- **Tarea 1:** La geoda de Pulpí (para casa, individual o en grupo, a elección de los alumnos).

- Abordar el caso particular del enlace en las sustancias iónicas.
- Aplicar la regla del octete a la formación de iones.
- Introducir el concepto de estructura cristalina y justificar las propiedades de los compuestos iónicos.
- Dar a conocer el significado de las fórmulas químicas e introducir la formulación y nomenclatura.
- Desarrollar competencias relacionadas con el empleo de modelos, el lenguaje simbólico de la ciencia y el tratamiento de la información.
- Comprobar el aprendizaje a tiempo de hacer correcciones y reajustes.

- **Iniciación:** el caso del C y el H: cuando los átomos tienen electronegatividades parecidas.
- **(Re)-estructuración:** reflexión y actividades sobre las propiedades de las sustancias covalentes. Distribución de la carga eléctrica cuando participan átomos no metálicos y justificación de propiedades en términos del enlace químico. Formación de moléculas diatómicas (I₂, O₂, N₂) y poliatómicas (H₂O, NH₃ y CH₄). Utilización de diagramas de Lewis

- Abordar el caso particular del enlace en las sustancias covalentes moleculares y atómicas.
- Afianzar el concepto de molécula y distinguirlo del de sustancia covalente atómica.
- Introducir el concepto de fuerzas intermoleculares para una mayor comprensión de las propiedades de las sustancias covalentes moleculares.
- Promover habilidades como la argumentación y la reflexión en la comparación de

<p>y modelos moleculares. Introducción de propiedades de sustancias covalentes moleculares. Reflexión sobre el diamante, el grafito y el cuarzo, y estudio comparativo de sustancias covalentes atómicas.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tarea 2: Piedras preciosas (para casa, individual o en grupo, a elección de los alumnos). 	<p>propiedades de sustancias covalentes moleculares y atómicas.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Desarrollar competencias relacionadas con el empleo de representaciones y modelos, el lenguaje simbólico de la ciencia y el tratamiento de la información. ▪ Comprobar el aprendizaje a tiempo de hacer correcciones y reajustes.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Iniciación: el cableado de la ciudad, por qué está hecho de cobre. ▪ (Re)-estructuración: reflexión y actividades sobre las propiedades de los metales. Distribución de la carga eléctrica y justificación de propiedades en términos del enlace químico. ▪ Tarea 3: elaboración de una tabla con las propiedades de las sustancias puras (en el aula, individual). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abordar el caso particular del enlace en las sustancias metálicas. ▪ Revisar las propiedades de los metales y contextualizarlas en sus aplicaciones. ▪ Repasar y comparar las propiedades de las sustancias estudiadas a modo de preparación para la sesión de laboratorio. ▪ Comprobar el aprendizaje a tiempo de hacer correcciones y reajustes.

Tabla 3. Fase de introducción de conceptos y reestructuración.

FASE DE APLICACIÓN (sesión 6)	
¿Funciona el modelo de enlace químico elaborado? ¿Se puede aplicar a la clasificación de sustancias desconocidas?	
RECURSOS	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pizarra, proyector y ordenador con conexión a internet (disponer de tabla periódica en vista panorámica, acceder a contenidos en la red y en el Foro). ▪ Laboratorio de Química. ▪ Material para el alumno recogido en el anexo. 	
TAREAS A REALIZAR	INTENCIONES DIDÁCTICAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Práctica de laboratorio: determinación de propiedades y clasificación de sustancias desconocidas. ▪ Elaboración conjunta de un diagrama de flujo para decidir, ante una sustancia desconocida, las propiedades que habría que verificar. ▪ Tarea 4: Informe de laboratorio. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Comprobar y aplicar en el laboratorio los conocimientos aprendidos. ▪ Utilizar el conocimiento generado en el laboratorio, en la obtención de una conclusión conjunta mediante la elaboración del diagrama de flujo. ▪ Desarrollar destrezas relacionadas con el diseño experimental, la toma de datos, la reflexión y argumentación sobre lo observado, la extracción de conclusiones y la expresión oral y escrita. ▪ Concienciar sobre la seguridad y la necesidad de un comportamiento adecuado en el laboratorio. ▪ Poner en valor la capacidad de la ciencia de explicar lo que se observa en la naturaleza. ▪ Potenciar la capacidad del alumnado de explicar a nivel sub-microscópico las propiedades macroscópicas de las sustancias. ▪ Comprobar el aprendizaje a tiempo de hacer correcciones y reajustes.

Tabla 4. Fase de aplicación.

FASE DE REVISIÓN (sesiones 7, 8 y 9)	
¿Qué hemos aprendido y qué nos queda por aprender?	
RECURSOS	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pizarra, proyector y ordenador con conexión a internet (disponer de tabla periódica en vista panorámica, acceder a contenidos en la red y en el Foro). ▪ <i>Etiquetas</i> para los alumnos que indiquen su <i>rol</i> en el juego: Na, Cl, H₂O, C, N, H, NH₃, etc. (ver Anexo). ▪ Agua y etanol (con colorante rojo) para mostrar la miscibilidad y acondicionador bifásico para mostrar la inmiscibilidad. ▪ Material para el alumno recogido en el anexo. 	
TAREAS A REALIZAR	INTENCIONES DIDÁCTICAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Iniciación: visionado del video de <i>Youtube</i> de Remedios Cervantes en <i>Atrapa un millón</i>. Breve reflexión grupal sobre la formación científica de los ciudadanos. ▪ Simulación analógica a modo de juego de rol, para revisar la justificación de propiedades observadas a partir del modelo de enlace químico construido y las fuerzas intermoleculares (relación con cambios de estado y miscibilidad de sustancias líquidas). ▪ Actividades de repaso donde se interconecten los distintos contenidos de la unidad. ▪ En casa: Estudio autónomo de los alumnos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Realizar una conexión entre los contenidos de las distintas sesiones y contenidos de otras unidades. ▪ Poner en valor la capacidad de la ciencia de explicar lo que se observa en la naturaleza. ▪ Desarrollar la capacidad del alumnado de explicar a nivel sub-microscópico las propiedades macroscópicas de las sustancias. ▪ Repasar, revisar y reforzar los contenidos. ▪ Autorregulación en torno a lo aprendido.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Examen de la unidad. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Poner de manifiesto el aprendizaje de los alumnos. ▪ Reforzar lo aprendido mediante actividades adicionales a realizar en el aula.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Corrección del examen. ▪ Cuestionario final (el mismo que el inicial). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revisar lo aprendido, corregir los errores y detectar las deficiencias de aprendizaje. ▪ Comparar los conocimientos al empezar y al acabar la unidad.

Tabla 5. Fase de revisión.

3.3.4 Descripción de actividades organizadas por sesiones

✓ Sesión 1 (en el laboratorio de Química)

En esta sesión se entrega a los alumnos un cuestionario inicial que versa sobre conceptos que han trabajado con anterioridad y que es necesario tener claros para poder profundizar en el estudio del enlace químico, como son la distinción entre sustancias puras (elementos y compuestos) y mezclas, el conocimiento de los gases nobles, algunas sustancias como la sal común, el agua y el oxígeno o las propiedades de los metales (ver en el anexo). Se dedica unos 10 minutos a completar el cuestionario, indicando que no cuenta para la calificación de la unidad y que se entregará al final de la misma para evaluar cualitativamente, tanto los

alumnos como el profesor, la adquisición de ciertos contenidos. Además se aprovechará para hacer una revisión de esos conocimientos anteriores que han de estar claros para abordar con éxito el enlace químico, a fin de homogeneizar el nivel de partida.

A continuación se realiza una experiencia de laboratorio, de unos 15 minutos, en la que se determinan las propiedades de varias sustancias: cloruro de sodio, sacarosa, éter etílico, gel de sílice y cobre. Los alumnos se disponen en grupos de tres y se les da una tabla como la siguiente (**Tabla 6**), con los datos que han de verificar (los puntos de fusión y ebullición se buscan en internet). Ellos mismos han de seleccionar el material necesario y diseñar el procedimiento para comprobar las propiedades pedidas (en todo momento se dirige y se orienta el proceso, sobre todo en la medida de la conductividad eléctrica), y se pide que elaboren un pequeño informe que han de entregar al profesor, indicando los pasos seguidos y los resultados obtenidos.

	Cloruro sódico	Sacarosa	Éter etílico	Gel de sílice	Cobre
Estado físico a 25 °C y 1 atm					
Puntos de fusión y ebullición					
Solubilidad en agua					
Conductividad de la sustancia pura					
Conductividad en disolución					
Observaciones que te llamen la atención					

Tabla 6. Estudio experimental de propiedades físicas.

Para concluir la sesión (30 minutos), se plantean una serie de cuestiones dirigidas a explicar las observaciones realizadas y explicitar las ideas de los alumnos. Entre otras, pueden emplearse las siguientes, inspiradas en las de García y Garritz (2006):

- ¿Existen fuerzas que mantengan unidas a las partículas que forman las sustancias?
- ¿Por qué las sustancias tienen puntos de fusión y ebullición tan variados?

- ¿Por qué hay algunas sustancias que conducen la electricidad en estado sólido y otras que no?
- ¿Por qué el cloruro sódico no conduce la electricidad en estado sólido y sí lo hace en disolución?
- Hay sustancias que son solubles en agua y otras que no, y líquidos miscibles y otros inmiscibles. ¿Por qué crees que ocurre esto?

Estas cuestiones se proyectan en una pantalla para que todos puedan leerlas, se deja a cada grupo que las discuta y antes de finalizar la sesión se hace una puesta en común donde el profesor va interrogando, contrastando situaciones donde las explicaciones que surjan no sean válidas. De este modo se pone de manifiesto la insuficiencia de las preconcepciones para explicar los fenómenos y la necesidad de un modelo científico más preciso.

Antes de finalizar la sesión se muestra el curso en la plataforma Moodle y la herramienta de Foro que estará habilitada para la comunicación entre alumnos y profesor durante la unidad didáctica.

✓ Sesión 2 (aula)

La sesión comienza recordando lo que se hizo el día anterior y las conclusiones generales que se obtuvieron de la experiencia y discusión en torno a las cuestiones planteadas. A continuación se conecta con sustancias de la vida cotidiana como el agua, los componentes del aire, la composición de los seres vivos o de los alimentos (se presentan fotos y datos tomados de internet), para preguntar cómo se encuentran los átomos en las sustancias que conocen y hacer surgir la idea intuitiva del enlace químico.

Establecida dicha idea de enlace, se retoman las observaciones de la sesión anterior para intentar aclarar el tipo de partículas que constituyen a cada sustancia (iones, moléculas, átomos), haciendo que los alumnos razonen sobre la existencia de carga eléctrica en la materia, distribuida de forma diferente en cada una de las sustancias estudiadas, que ya pueden clasificarse como iónicas, moleculares, atómicas y metálicas. Se guía la discusión con los alumnos para que aflore en ellos el concepto de enlace como unión debida a la interacción coulombiana de cargas de signo opuesto, permitiéndoles construir el modelo con el que se trabajará en las

demás sesiones, y de ahí se introduce el hecho de que los electrones externos de un átomo estén atraídos por el núcleo de otro diferente. Es en este punto donde se introduce el concepto de electronegatividad y se muestra la tendencia en la tabla periódica, estableciendo una distinción entre metales y no metales.

Seguidamente, se da la oportunidad a los alumnos de que empleen los conceptos de electronegatividad y de enlace químico para tratar de explicar las observaciones realizadas en la sesión de laboratorio (para facilitar el análisis se proyecta la **Tabla 6** completa con los datos obtenidos).

Llegados a este punto, se plantea la posibilidad de que algunos átomos se presenten aislados en la naturaleza, debido a su estabilidad en dicha disposición. Ellos han de responder aludiendo a los gases nobles y a partir de ahí se presenta la regla del octete como una aproximación o herramienta que facilita la comprensión de un fenómeno complejo, útil a pesar de las múltiples limitaciones.

Como tarea para casa, se pide a los alumnos que busquen fotos llamativas de minerales y las cuelguen, junto con una breve descripción sobre composición, estructura, lugar donde se halla..., en el Foro de la unidad didáctica.

✓ **Sesión 3 (aula)**

Para comenzar, se abre el Foro en la plataforma Moodle y se muestra a la clase las fotos que ellos mismos han ido colgando, comentando entre todos las más significativas. Se selecciona alguna de ellas, que represente una sustancia iónica como la halita o la silvina, minerales que podrían llevarse al aula para su observación directa. Se pregunta por las propiedades físicas más obvias, como el estado físico, la apariencia, el color, la fragilidad, las formas geométricas... y conectando con la sesión 1 y utilizando los conceptos introducidos en la sesión 2, se recuerdan propiedades como la solubilidad en agua o conductividad en disolución, características de las sustancias iónicas o cristales iónicos.

Se pide a los alumnos una explicación de las propiedades recurriendo al enlace en estas sustancias, llegando al caso particular del enlace entre átomos con valores de electronegatividades muy diferentes (metales y no metales, caso o enlace iónico). Se busca que razonen sobre las fuerzas que mantienen unidos a los iones en la sustancia iónica, particularizando en el cloruro de sodio. Para ayudar en la

comprensión del enlace en esta sustancia, se lleva al aula un modelo de bolas y palillos, que deben observar y tratar de dibujar en su cuaderno.

Antes de terminar la sesión, se hace hincapié en el significado de la fórmula química de las sustancias iónicas, en las que no hay moléculas, por lo que éstas expresan la proporción de iones de cada signo en el cristal iónico, y se introducen nociones de formulación y nomenclatura de compuestos binarios. También se ponen ejemplos de sustancias donde la proporción de iones no sea 1:1, como el MgCl_2 , y se aplica la regla del octete en la formación de iones, para predecir en cierta medida la estequiometría de compuestos iónicos sencillos.

Se encarga para casa la Tarea 1, que se recogerá en la sesión 5, sobre la geoda de Pulpí (anexo), dejando libertad de decisión para hacerla individual, por parejas o por grupos de tres. En esta tarea se pretende que los alumnos profundicen en los contenidos mediante el estudio de una sustancia iónica con un anión poliatómico, pues la composición de la geoda es de CaSO_4 .

✓ Sesión 4 (aula)

Se hace un breve repaso de lo aprendido en la sesión anterior, y se plantea el problema del enlace cuando los átomos participantes tienen electronegatividades altas y muy parecidas, como en el caso del metano, donde se unen carbono e hidrógeno, átomos no metálicos. Los alumnos han de reflexionar y argumentar cómo los electrones se distribuyen en este compuesto y paulatinamente, dirigidos por el profesor, han de llegar al concepto de molécula, caracterizadas por ser partículas de carácter neutro, que no pueden conducir la electricidad. En toda la discusión en el aula se hace referencia a las observaciones realizadas en la sesión 1, para ir aceptando o descartando explicaciones que concuerden con la experiencia previa, justificando así las propiedades físicas constatadas. Para complementar la reflexión, se lleva un matraz cerrado con algo de yodo y un mechero para calentarlo y apreciar la sublimación. Se dirige la discusión para hacer llegar a los alumnos a la idea de fuerzas intermoleculares, que no se detallan en profundidad pero se utilizan para explicar los cambios de estado, los bajos puntos de fusión y ebullición y la miscibilidad o inmiscibilidad en agua de las sustancias covalentes moleculares.

En este momento, se utiliza la regla del octete para predecir el enlace en algunas moléculas diatómicas y poliatómicas, utilizando diagramas de Lewis, y se

incide en el significado de la fórmula química de estas sustancias. Se enseñan modelos moleculares de los ejemplos que se trabajen en clase.

Antes de acabar la sesión, se muestran imágenes de la estructura del diamante, como cristal atómico, y se les pide que detallen las propiedades que conocen. A partir de ahí se reflexiona sobre el enlace en el diamante y se extiende el razonamiento a otras sustancias covalentes atómicas como el grafito y el cuarzo, comparándolos con las sustancias moleculares.

Se encarga para casa la Tarea 2, que se recogerá en la sesión 6, sobre piedras preciosas, el rubí y el zafiro (anexo), dejando libertad de decisión para hacerla individual, por parejas o por grupos de tres. En esta tarea se plantea el análisis de una sustancia atómica, Al_2O_3 , que según el modelo debería ser iónica, lo que llevará a los alumnos a comprender el carácter limitado de los modelos y a tomar una decisión en la clasificación en base a las propiedades físicas.

✓ **Sesión 5 (aula)**

Comienza también la sesión con una breve revisión de lo aprendido en las anteriores, y se hace un repaso de las propiedades del cobre, que se verificaron en la sesión 1. Se pregunta a los alumnos por qué se selecciona este material para el cableado y a partir de ahí se empieza a buscar una explicación de las propiedades físicas en términos del enlace. Se dirige la discusión para llegar a una explicación en torno a la distribución de carga eléctrica cuándo se unen átomos metálicos de un mismo tipo, con electronegatividades idénticas y muy bajas, llegando a analizar el caso o enlace metálico. Los propios alumnos han de llegar a la idea de electrones en movimiento libre en una red de cationes, y explicar no solo la conductividad sino otras propiedades como el brillo, la ductilidad y la maleabilidad.

Antes de acabar la sesión, se les encarga en el aula la Tarea 3, consistente en elaboración de una tabla donde se resuman y se comparen las propiedades de las sustancias estudiadas hasta el momento. Se enfatizan en esta actividad las excepciones y las limitaciones en la clasificación de ciertas sustancias, por ejemplo, compuestos iónicos muy poco solubles, el mercurio y el galio como metales líquidos, el grafito como sólido covalente atómico que conduce la electricidad. Dicha tabla se recoge en la misma sesión para ser calificada, y durante el tiempo dedicado el profesor irá monitorizando el aprendizaje de los alumnos y resolviendo las dudas

que se planteen. La **Tabla 7** es un ejemplo de cómo podrían realizar los alumnos esta tarea.

		Compuesto iónico	Sustancia covalente molecular	Sustancia covalente atómica	Elemento metálico
Características principales	EN de los átomos que intervienen				
	Estructuras que se forman				
Propiedades físicas	Estado físico a 25 °C y 1 atm				
	Punto de fusión y ebullición				
	Soluble en agua				
	Conductividad				
	Otras propiedades				

Tabla 7. Comparación de estructura y propiedades de las sustancias puras.

✓ Sesión 6 (laboratorio de Química)

Se realiza una sesión de laboratorio donde los alumnos han de comprobar la validez del modelo de enlace elaborado, constatando la validez superior del mismo frente a las ideas y concepciones previas. Se disponen en grupos de tres y se les entrega una sustancia química desconocida que deberán clasificar como iónica, covalente molecular, covalente atómica o metálica. En el anexo se recoge el documento de laboratorio, que trata de ser abierto para que los alumnos diseñen los experimentos que consideren oportunos para realizar la clasificación de la sustancia proporcionada. Al finalizar la experiencia, de unos 30 minutos, entregan un informe de laboratorio donde recojan lo que han hecho, por qué, cómo y las conclusiones a las que han llegado. Este informe constituye la Tarea 4, que se evaluará y calificará.

El resto de la sesión se dedica a una puesta en común de los resultados obtenidos, mediante la elaboración conjunta en la pizarra de un diagrama de flujo donde se indiquen las preguntas formuladas, las posibles respuestas y el camino seguido para decidir la clasificación de una sustancia desconocida, tal y como lo hicieron en la misma sesión. Un ejemplo de posible diagrama que puede surgir en el grupo-clase se muestra en la **Figura 3**.

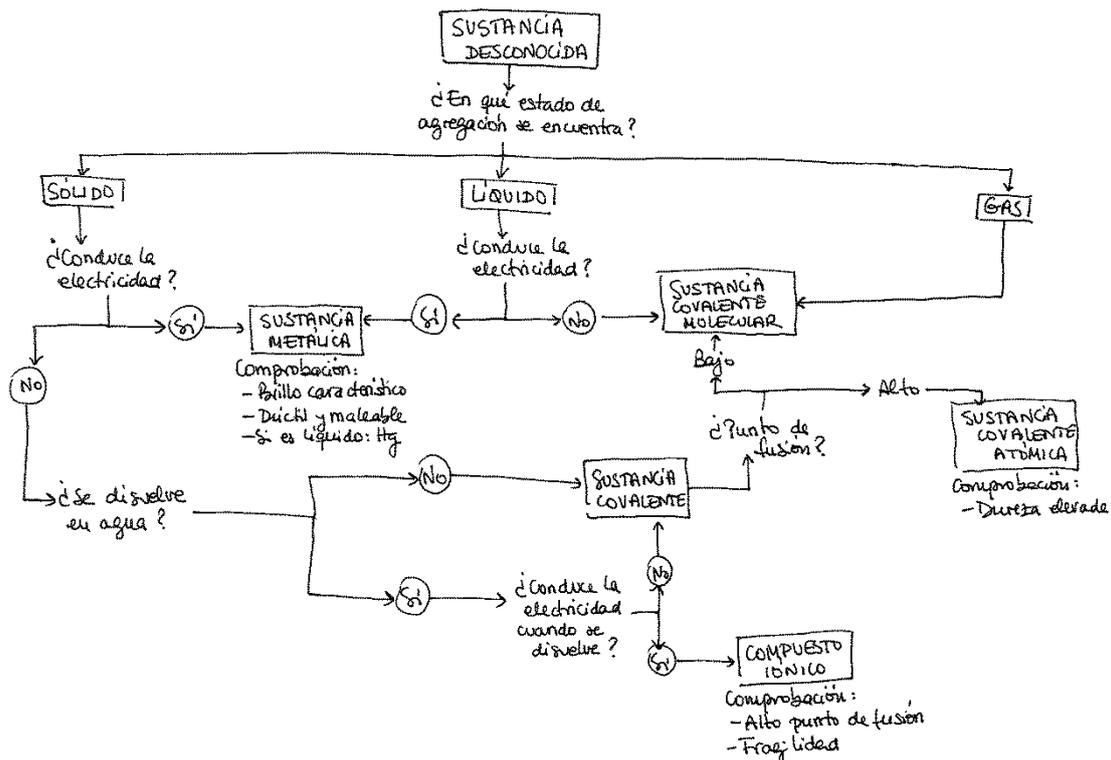


Figura 3. Diagrama de flujo para clasificar una sustancia desconocida.

✓ Sesiones 7, 8 y 9 (aula)

En la sesión 7 se hará una revisión general de los contenidos de la unidad didáctica. Comenzará con el visionado de un video de *Youtube*, donde se realiza una pregunta en el concurso *Atrapa un Millón*, relacionada con la conductividad en disolución acuosa del azúcar y de la sal común.⁴ A partir de este video se debatirá brevemente sobre la necesidad de tener conocimientos científicos para ser un buen ciudadano, tomar decisiones con actitud crítica y seguir adelante en un desarrollo profesional satisfactorio.

Para repasar todos los contenidos de la unidad, se puede realizar una simulación analógica a modo de juego de rol, en la que los alumnos van representando cómo se disponen las partículas de algunas sustancias a nivel sub-microscópico, y explican unos a otros las propiedades observadas a nivel macroscópico. Una propuesta de desarrollo de esta simulación se presenta en el anexo.

⁴ Se puede ver en: https://www.youtube.com/watch?v=eABgDjCIO_o

A continuación, se entregan unas actividades de repaso que irán trabajando en grupos de tres o cuatro (anexo). El profesor va pasando por los grupos monitorizando el aprendizaje y resolviendo dudas, y gestionando los tiempos se pueden ir corrigiendo en la pizarra. Las actividades que quedan sin terminar se encargan para casa.

En la sesión 8 se realiza el examen final de la unidad (anexo) y en la sesión 9 se repite el cuestionario inicial para ver el cambio producido durante la unidad didáctica, y se corrige el examen, tratando de hacer hincapié en los errores más frecuentes y en las ideas previas no superadas.

3.3.5 El proceso de enseñanza y aprendizaje: el papel del profesor y de los alumnos

En la implementación de esta unidad didáctica se dará el protagonismo al alumno, que será el centro de los procesos de enseñanza y aprendizaje. En este sentido, los alumnos manifestarán sus preconcepciones e ideas previas, unas cuantas acertadas, otras aproximadas, y algunas erróneas; y las contrastarán con los compañeros, permitiéndoles evaluar la capacidad explicativa de los fenómenos naturales con que dichas ideas previas cuentan. Es importante la dimensión social del aprendizaje, por lo que los alumnos serán alentados a trabajar en grupos de tres o cuatro en el aula, a compartir opiniones y argumentar entre ellos.

De este modo, los alumnos serán constructores de su conocimiento científico, integrándolo en sus esquemas de pensamiento, de acuerdo a su nivel de desarrollo evolutivo; y dejando al profesor un papel de guía y mediador, que orientará la elaboración de modelos consistentes con el cuerpo epistemológico aceptado por la comunidad científica. Este papel de guía o de orientación se llevará a cabo planteando actividades de aula y tareas para casa adecuadas a tal fin. En el desarrollo de las sesiones planteadas en la macro-secuencia didáctica, se buscará un intercambio dialógico con el alumnado, en el que ciertas preguntas y ciertas indicaciones clave permitan a cada uno alcanzar los objetivos educativos previstos.

3.3.6 Atención a la diversidad y dificultades de aprendizaje

La diversidad del alumnado de 4º ESO hace necesario contemplar distintas medidas que incrementen las probabilidades de aprendizaje para todos los

miembros del grupo-clase. Una clara ventaja de este curso es la optatividad de la asignatura, lo que implica que una mayor parte de los alumnos tengan una actitud favorable hacia la ciencia, y en este sentido exista una cierta predisposición al aprendizaje de los contenidos. No obstante, la metodología didáctica contará con recursos variados que hagan los contenidos accesibles a la totalidad de estudiantes, acercándolos a la cotidianidad para mostrar la utilidad de la ciencia y motivar en mayor medida para su estudio.

Adicionalmente, las dificultades de aprendizaje indicadas al comienzo de este trabajo deberán tenerse en cuenta en la puesta en acción de la estrategia didáctica seleccionada. Se propone el empleo de distintos elementos encaminados a la detección y tratamiento de estas dificultades. En primer lugar, en el cuestionario inicial se identificarán las carencias y los conocimientos previos de los alumnos, además de las ideas previas que tengan acerca de la forma en que los átomos se encuentran en la naturaleza, abordando los contenidos desde el diagnóstico realizado en las primeras sesiones. Asimismo se explorarán las concepciones alternativas en mayor profundidad mediante un intento de buscar explicaciones a observaciones realizadas al comienzo de la unidad.

Además, se aplicarán estrategias que permitan la evolución de los conceptos, interconectando los aprendizajes nuevos con los ya trabajados en esta asignatura y en otras del área. Las actividades propuestas son variadas, tanto en grado de dificultad como de apertura, para ofrecer multitud de oportunidades de aprendizaje. En algunas de ellas habrá que poner en común conclusiones obtenidas tras el trabajo en equipo o experiencias de laboratorio, y permitirán poner de manifiesto la asimilación de los contenidos, y a la vez contrastar con los compañeros el valor explicativo de las ideas previas que persisten, o el grado de acuerdo con las concepciones científicas que tienen las nuevas ideas que se van formando. También se fomentará el trabajo en equipos colaborativos en el laboratorio, en el aula y, de forma opcional, en las tareas a realizar en casa, las cuales se utilizarán para corregir errores y permitir un mayor avance.

Por último, la simulación analógica presentada, a modo de juego, se realizará en una de las últimas sesiones de la unidad didáctica, con el fin de minimizar las dificultades asociadas a conceptos abstractos, acercándolos al alumnado para mejorar su comprensión, y simultáneamente se detectarán y corregirán posibles deficiencias en el aprendizaje.

Todas estas actividades y tareas servirán como instrumentos de evaluación continua, contribuyendo en gran medida, junto con el examen, a la calificación final, de modo que se tendrán en cuenta habilidades diversas que permitan superar la unidad a la diversidad del alumnado.

En caso de ser necesario, se ofrecerán actividades y tareas adaptadas a alumnos con necesidades específicas, tanto de refuerzo como de ampliación.

3.4 Evaluación de la unidad

3.4.1 Criterios de evaluación

Los criterios de evaluación han sido seleccionados a partir de los aprendizajes prioritarios entre los indicados en el análisis de la competencia científica, y son por tanto los siguientes:

- ✓ Clasifica las sustancias puras en función de sus propiedades, asociándolas a las partículas que las integran y de la distribución de la carga eléctrica en ellas.
- ✓ Comprende el concepto de enlace químico, relacionándolo con los de estabilidad y electronegatividad.
- ✓ Relaciona las propiedades de las sustancias con el enlace que presentan sus átomos, distinguiendo tipos de enlace como casos particulares de un mismo fenómeno.
- ✓ Interpreta cambios de estado y miscibilidad de sustancias líquidas como fenómenos asociados a fuerzas intermoleculares.
- ✓ Utiliza y entiende el significado de fórmulas químicas sencillas.
- ✓ Analiza el enlace químico de una sustancia a partir de su fórmula.
- ✓ Utiliza adecuadamente representaciones y modelos de enlace químico, comprendiendo el carácter aproximado de los mismos y sus limitaciones.
- ✓ Formula preguntas y plantea hipótesis científicas, identificando variables y relaciones entre ellas.
- ✓ Diseña experiencias sencillas de laboratorio para la comprobación experimental de propiedades físicas de sustancias puras.
- ✓ Extrae conclusiones bien argumentadas a partir de observaciones experimentales.

- ✓ Desarrolla actitudes científicas como la curiosidad, el rigor, el orden o el trabajo en equipo.
- ✓ Reconoce el valor del conocimiento científico en la búsqueda de nuevos materiales eficientes y respetuosos con el medio ambiente.
- ✓ Respeta las normas de seguridad, los bienes de uso común y a los compañeros.
- ✓ Busca, procesa y comunica correctamente información científica.
- ✓ Aplica los conocimientos adquiridos a situaciones concretas y en la toma de decisiones.

También se prevé una evaluación cualitativa de la implementación de la unidad didáctica, para lo cual el instrumento fundamental será el diario del profesor y las informaciones obtenidas a través de los instrumentos indicados en el apartado siguiente.

3.4.2 Instrumentos de evaluación y ponderación

MOMENTO	INSTRUMENTO	FECHA DE ENTREGA	PORCENTAJE EN LA CALIFICACIÓN GLOBAL
Sesión 1	Cuestionario inicial. Detección de ideas previas (10 minutos)	-	Sólo evaluación cualitativa para reflexión del docente y del alumnado
Sesión 3	Tarea 1. La geoda de Pulpí (con rúbrica asociada)	Sesión 5	15%
Sesión 4	Tarea 2. Las piedras preciosas (con rúbrica asociada)	Sesión 6	15%
Sesión 5	Tarea 3. Tabla de propiedades	-	10%
Sesión 6	Tarea 4. Informe de laboratorio (con rúbrica asociada)	-	10%
Sesión 8	Examen (1 hora)	-	40%
Todas	Desarrollo de las clases, realización de actividades en el aula (observación del docente)	-	Evaluación cualitativa y contribución a la evaluación global
Final	Evaluación global. Análisis de adquisición de aprendizajes a partir de criterios de evaluación (rúbrica)	A realizar por el profesor	10%
Sesión 9	Cuestionario final. Contrastación del aprendizaje (10 minutos)	-	Sólo evaluación cualitativa para reflexión del docente y del alumnado

Tabla 8. Instrumentos de evaluación y ponderación.

Se propone una evaluación continua del proceso de enseñanza y aprendizaje, para que a lo largo de las sesiones tanto el profesor como el alumnado sean

conscientes de la marcha de dicho proceso, permitiendo a todos los participantes reflexionar y reajustar lo que sea necesario. En este sentido, se intentará evaluar conforme a la **Tabla 8**.

El cuestionario inicial servirá al profesor para detectar las ideas previas y reajustar la programación según las necesidades del grupo-clase, así como determinar las medidas a emplear para la atención a la diversidad. Por otro lado, los alumnos se darán cuenta de su estado inicial, viendo lo que saben y lo que no. Este cuestionario se presenta en el anexo, y se utilizará el mismo como cuestionario final, de modo que los alumnos vean lo que contestaron al principio y puedan analizar su progreso, sirviendo además al docente para evaluar el aprendizaje en función de las diferencias observadas.

En cada una de las tareas propuestas, se entregará a los alumnos el documento que se adjunta en el anexo, reflejando los criterios con los que se evaluará, para su conocimiento. Estas tareas se calificarán pudiendo obtenerse un máximo de 15 puntos (tareas 1 y 2, que contribuirán un 15% cada una) o de 10 puntos (las tareas 3 y 4, que contribuirán un 10% en la calificación global).

Adicionalmente se evaluará de forma global el progreso del alumno puntuando distintos criterios de evaluación de 0 a 1, utilizando valores intermedios, lo cual contribuirá en un 10% de la calificación final, según la rúbrica que se muestra en la **Tabla 9**.

Al finalizar la unidad didáctica se realizará un examen, que permitirá ejercitar, poner en práctica y razonar empleando todos los contenidos, evitando una demostración de habilidades memorísticas carente de sentido. Dicho examen se recoge en el anexo, y constará de preguntas con respuestas de opción múltiple (para facilitar el análisis estadístico de los resultados), junto con preguntas de verdadero y falso con justificación (donde se valorará la expresión escrita de forma correcta y coherente con los contenidos científicos).

Se dedicará una última sesión a la revisión del examen, lo que permitirá a los alumnos comprender sus errores y aprender de ellos, para posibles exámenes de recuperación posteriores.

Grupo: 3ºESO (A, B, C o D)											
	Comprende el concepto de enlace químico	Analiza el enlace químico de una sustancia a partir de su fórmula	Utiliza y entiende el significado de fórmulas químicas sencillas	Utiliza adecuadamente representaciones y modelos de enlace químico	Relaciona las propiedades de las sustancias con el enlace que presentan sus átomos	Interpreta cambios de estado y miscibilidad de sustancias líquidas como fenómenos asociados a fuerzas intermoleculares	Diseña experiencias sencillas de laboratorio para la comprobación experimental de propiedades físicas de sustancias puras	Extrae conclusiones bien argumentadas a partir de observaciones experimentales	Respeta las normas de seguridad, los bienes de uso común y a los compañeros	Busca, procesa y comunica correctamente información científica	Puntuación (de 0 a 10)
Nombre de cada alumno	de 0 a 1	de 0 a 1	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	de 0 a 1	de 0 a 1	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...

Tabla 9. Rúbrica de evaluación global. En esta rúbrica se puntúa de 0 a 1 cada criterio de evaluación, de acuerdo con lo observado a través las tareas propuestas y de la observación diaria del profesor. La puntuación obtenida se traducirá en una contribución del 10% a la calificación global de la unidad didáctica.

4. CONCLUSIONES

En este Trabajo Fin de Máster se ha rediseñado una unidad didáctica sobre el Enlace Químico para el segundo ciclo de Educación Secundaria Obligatoria. Para ello, se han realizado algunos cambios y mejoras sobre la unidad didáctica implementada en el período de prácticas. Los cambios más significativos se centran en tres aspectos fundamentales:

- ✓ Se ha cambiado el curso al que va destinada la unidad, de 3º a 4º ESO, ajustándose mejor el contenido al currículum oficial, de acuerdo con la legislación vigente.
- ✓ Se ha establecido un marco conceptual unitario para el enlace químico, utilizando la electronegatividad para explicar la atracción de los electrones de valencia de un átomo por parte del núcleo de otro átomo, lo que da lugar al enlace químico, y desde dicho marco, en lugar de distinguir distintos enlaces se ha introducido el estudio de casos particulares, debidos a las diferencias de electronegatividades de los átomos intervinientes. Con ello se busca que los alumnos empleen un único modelo para explicar un mismo fenómeno, en lugar de diferentes modelos que pueden resultar confusos.
- ✓ Se ha reforzado el modelo constructivista, reorganizando la secuencia de enseñanza y aprendizaje para dar a los alumnos la oportunidad de elaborar un modelo científico a partir de la experiencia, en un proceso hipotético-deductivo. Así, partiendo de la observación de propiedades físicas, se orienta la elaboración de un marco teórico que explique tales propiedades, mejor que las ideas y concepciones previas, que son tenidas en cuenta para producir el cambio conceptual a través del conflicto cognitivo. De esta manera se pretende conseguir un aprendizaje de los alumnos más eficiente.

Por tanto, se han introducido cambios sustanciales en la unidad didáctica, destinados a facilitar el aprendizaje significativo de los alumnos, en un conjunto de contenidos relacionados con el enlace químico, que generalmente resulta complejo y confuso. Aunque se contempla el uso de las tecnologías de la información y la

comunicación (se prevé el uso de la plataforma Moodle y pizarra digital, y se encarga a los alumnos tareas en las que deberán buscar información en la red), podrían incorporarse más actividades con soporte informático, como por ejemplo, la realización del cuestionario inicial o la exploración de ideas previas. En este sentido, una formación adicional sería deseable, destinada al diseño de este tipo de actividades y la optimización de los recursos digitales en el aula.

Por otro lado, la unidad didáctica presentada cuenta con un cierto componente de naturaleza de la ciencia, en tanto que se insiste en el carácter aproximado de los modelos y se enfatizan las excepciones en la clasificación de las sustancias, pero tal vez podría reforzarse más con la incorporación de actividades que muestren cómo se fueron elaborando los modelos de enlace a lo largo de la historia, comenzando con la teoría de los electrolitos de Arrhenius, hasta llegar a la teoría de Lewis, dejando para cursos superiores los rudimentos de la mecánica cuántica.

En conclusión, se ha presentado una serie de mejoras con respecto a la unidad didáctica impartida en las prácticas, aunque en la labor profesional del docente, en función de la experiencia y de una formación permanente indispensable, siempre van surgiendo nuevas mejoras y nuevas propuestas, fruto de la reflexión, de los resultados de evaluación y de la autocrítica.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASIMOV, I. (2006). *Breve historia de la química*. Madrid: Alianza Editorial.

AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D. y HANESIAN, H. (1989). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México, D.F.: Trillas.

BORSESE, A. (1995). Una matriz conceptual única para los diversos tipos de enlace químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), pp. 116-118.

CHAMIZO, J. A. (1992). Modelos del enlace químico. *Elementos*, 17(2), pp. 28-32.

COLL, C., MARTÍN, E., MAURI, T., MIRAS, M., ONRUBIA, J., SOLÉ, I. y ZABALA, A. (2000). *El constructivismo en el aula*. Barcelona: Graó.

DRIVER, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), pp. 3-15.

DRIVER, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículum en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), pp. 109-120.

DRIVER, R. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23, pp. 5-12.

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), pp. 111-124.

GILLESPIE, R. J. (1997). The great ideas of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 74(7), pp. 862-864.

HURST, M. O. (2002). How we teach molecular structure to freshmen. *Journal of Chemical Education*, 79(6), pp. 763-764.

KIND, V. (2004). *Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de Química*. México: Editorial Santillana, pp. 107-122.

LEVY NAHUM, T., MAMLOK-NAAMAN, R., HOFSTEIN, A. y KRONIK, L. (2008). A new “bottom-up” framework for teaching chemical bonding. *Journal of Chemical Education*, 85(12), pp.1680-1685.

LEVY NAHUM, T., MAMLOK-NAAMAN, R., HOFSTEIN, A. y TABER, K (2010). Teaching and learning the concept of chemical bonding. *Studies in Science Education*, 46(2), pp. 179-207.

MARCO-SIEFEL, B. (2000). La alfabetización científica. En F. J. Perales y P. Cañal (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Marfil.

MONDELO, M., GARCÍA, S. y MARTÍNEZ, C. (1994). Materia inerte o materia viva. ¿Tienen ambas constitución atómica? *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), pp. 226-233.

ÖZMEN, H. (2004). Some student misconceptions chemistry: a literature review of chemical bonding. *Journal of Science Education and Technology*, 13(2), pp.147-159.

PAULING, L. C. (1973). *The nature of the chemical bond and the structure of molecules and crystals: an introduction to modern structural chemistry*. Ithaca: Cornell University Press.

PAULING, L. C. (1992). The Nature of the Chemical Bond. *Journal of Chemical Education*, 69(6), pp. 519-521.

POSADA, J. M. de (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), pp. 227-245.

POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W. y GERTZOG, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), pp. 211-227.

POZO, J. I. (1996). *Aprendices y maestros*. Madrid: Alianza.

PRO, A. (1988). ¿Se puede enseñar contenidos procedimentales en las clases de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), pp. 21-42.

REID, D. J. y HODSON, D. (1993). *Ciencia para todos en secundaria*. Madrid: Narcea.

RIBOLDI, L., PLIEGO, O. y ODETTI, H. (2004). El enlace químico: una conceptualización poco comprendida. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), pp. 195-212.

SHAYER, M. y ADEY, P. (1984). *La ciencia de enseñar ciencias. Desarrollo cognoscitivo y exigencias del currículo*. Madrid: Narcea.

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, pp. 83-105.

SPROUL, G. (1993). Electronegativity and bond type: I. Tripartate separation. *Journal of Chemical Education*, 70(3), pp. 531-534.

SPROUL, G. (1994). Electronegativity and bond type. 3. Origins of bond type. *Journal of Physical Chemistry*, 98(50), pp. 13221-13224.

SPROUL, G. (2001). Electronegativity and bond type: predicting bond type. *Journal of Chemical Education*, 78(3), pp. 387-390.

TRINIDAD-VELASCO, R. y GARRITZ, A. (2003). Revisión de las concepciones de los estudiantes de secundaria sobre la estructura de la materia. *Educación Química*, 14(2), pp. 92-105.

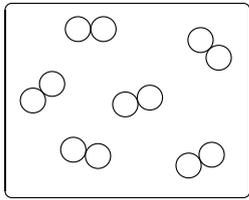
URBINA, S., GALLEGO, R., PÉREZ, R. y GALLEGO, A. P. (2008). Una construcción histórico-epistemológica del modelo del octeto para el enlace químico. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 23, pp. 52-66.

WEINHOLD, F. (1999). Chemical bonding as a superposition phenomenon. *Journal of Chemical Education*, 76(8), pp. 1141-1146.

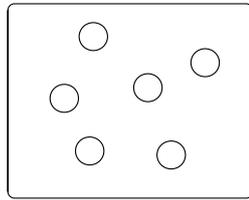
6. ANEXOS

6.1 Cuestionario inicial y final

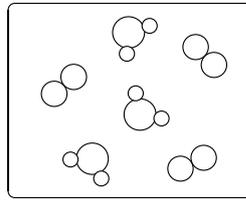
1. Los siguientes recipientes contienen gases.



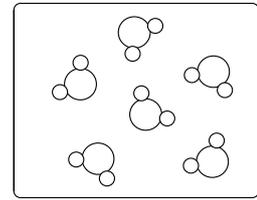
(a)



(b)



(c)



(d)

- **¿Cuáles de ellos (a, b, c, d) contienen sustancias puras y cuáles contienen mezclas?**

Respuesta inicial:

Respuesta al final de la unidad:

- **De aquéllos que has clasificado como sustancias puras, ¿cuáles son elementos y cuáles son compuestos?**

Respuesta inicial:

Respuesta al final de la unidad:

2. ¿En qué se diferencian un compuesto químico y una mezcla?

Respuesta inicial:

Respuesta al final de la unidad:

3. Los átomos en la naturaleza, ¿pueden encontrarse aislados? ¿conoces algún ejemplo?

Respuesta inicial:

Respuesta al final de la unidad:

--

- 4. ¿Sabes las fórmulas del oxígeno que respiramos, el agua que bebemos o la sal que ponemos en la comida? ¿Cómo se encuentran los átomos en cada una de estas sustancias puras?**

Respuesta inicial:

Respuesta al final de la unidad:

- 5. Razona si es verdadero o falso: entre las moléculas de agua en el hielo existen fuerzas que las mantienen unidas.**

Respuesta inicial:

Respuesta al final de la unidad:

- 6. ¿De qué material está hecho el cableado eléctrico de Puerto Real? ¿Qué propiedad hace que se elija este material?**

Respuesta inicial:

Respuesta al final de la unidad:

6.2 Tareas con rúbricas asociadas

6.2.1 Tarea 1. La geoda de Pulpí

Pulpí es una localidad almeriense donde en 1999 encontraron la geoda mostrada en la fotografía.



Busca información sobre **qué es una geoda**, y responde a las siguientes cuestiones:

- ¿Cuál es la **composición química** de la geoda de Pulpí? Indica el nombre común, el nombre científico y la fórmula química.
- Analiza el **enlace químico** en esta sustancia.
- Describe **las propiedades físicas** del mineral que se observan en la fotografía e indica algunas otras que crees que tenga la sustancia de la que están hechos. ¿Qué pasaría si la geoda se inundara? ¿Y si entrara mucha gente descuidada a visitarla?
- En el **parque arqueológico de Segóbriga**, en Cuenca, se ha descubierto una antigua mina de la que los pobladores romanos de los siglos I y II d. C. extraían este mismo mineral. ¿**Qué uso le daban al mineral extraído**?

Criterios de evaluación	Puntuación		
	1	2	3
Comprende el concepto de enlace químico			
Analiza el enlace químico de una sustancia a partir de su fórmula			
Utiliza y entiende el significado de fórmulas químicas sencillas			
Relaciona las propiedades de las sustancias con el enlace que presentan sus átomos			
Busca, procesa y comunica correctamente información científica			
PUNTUACIÓN TOTAL:			

6.2.2 Tarea 2. Piedras preciosas, el zafiro y el rubí

Busca información sobre el zafiro (piedra preciosa de color azul) y el rubí (piedra preciosa de color rojo) y contesta a las siguientes cuestiones.



- ¿Cuál es la **composición química** del zafiro y del rubí? ¿En qué se **diferencian** y a qué se deben sus **colores**?
- ¿En qué **estado de agregación** se encuentran el zafiro y el rubí en la naturaleza? Indica además sus **puntos de fusión** y alguna otra propiedad que te llame la atención.
- Según las **propiedades indicadas** y el **tipo de átomos** que constituyen ambas piedras preciosas, discute brevemente el **enlace químico** en ellas.

Criterios de evaluación	Puntuación		
	1	2	3
Comprende el concepto de enlace químico			
Analiza el enlace químico de una sustancia a partir de su fórmula			
Utiliza y entiende el significado de fórmulas químicas sencillas			
Relaciona las propiedades de las sustancias con el enlace que presentan sus átomos			
Busca, procesa y comunica correctamente información científica			
PUNTUACIÓN TOTAL:			

6.2.3 Tarea 4. Práctica de laboratorio

En clase hemos estudiado que las sustancias puras pueden clasificarse atendiendo a una serie de **propiedades físicas** (recogidas en la tabla siguiente) relacionadas con el **tipo de partículas** que las forman y la **distribución de la carga eléctrica**, todo ello ocasionado por el **enlace químico**.

Propiedad física	Compuesto iónico	Sustancia covalente molecular	Sustancia covalente atómica	Elemento metálico
Estado físico a 25 °C y 1 atm	Sólido	Sólido, líquido o gas	Sólido	Sólido (excepto Hg)
Punto de fusión	Alto	Bajo	Alto	Alto
Soluble en agua	En general, sí	Algunas sí, otras no	No	No
Conductividad	En disolución o fundido, sí	No, ni fundida ni en disolución	No (excepto C-grafito)	Sí, en estado sólido
Otras propiedades	Frágil		Dureza	Brillo Dúctil y maleable

Por equipos de tres, **diseñad y realizad los ensayos** que creáis convenientes para clasificar la **sustancia desconocida** que el profesor os proporcionará, de acuerdo con las propiedades indicadas en la tabla. Para ello, describid brevemente **qué** hacéis, **por qué** lo hacéis y qué **conclusión** obtenéis.

Una vez decidáis de qué tipo de sustancia se trata, preguntad al profesor por su fórmula química. ¿Qué podéis decir **enlace químico**? ¿**Concuerta** la información que ofrece **la fórmula química** con lo que habíais concluido de **las experiencias**?

Criterios de evaluación	Puntuación		
	1	2	3
Comprende el concepto de enlace químico			
Analiza el enlace químico de una sustancia a partir de su fórmula			
Utiliza y entiende el significado de fórmulas químicas sencillas			
Relaciona las propiedades de las sustancias con el enlace que presentan sus átomos			
Diseña experiencias sencillas de laboratorio para la comprobación experimental de propiedades físicas de sustancias puras			
Extrae conclusiones bien argumentadas a partir de observaciones experimentales			
Respeto las normas de seguridad, los bienes de uso común y a los compañeros			
Punto adicional por la actitud en el laboratorio			
PUNTUACIÓN TOTAL:			

6.3 Simulación analógica

Esta simulación analógica consiste en un juego en el que de manera interactiva se justificarán las propiedades de las sustancias en términos del enlace químico que presentan. Se trata de atraer una mayor atención en el alumnado y a la vez ayudar a interpretar propiedades macroscópicas desde una perspectiva sub-microscópica, acercando a lo tangible ideas abstractas.

Etiquetas a elaborar: en hojas de papel se elaboran las siguientes etiquetas: 6 hojas con el símbolo Na por una cara y Na^+ por la otra; 6 hojas con el símbolo Cl por una cara y Cl^- por la otra; 12 etiquetas con la fórmula H_2O ; 6 hojas con la palabra Etanol; 6 hojas con la fórmula CCl_4 ; y 6 hojas con el símbolo C.

Primera parte: justificación de las propiedades de los compuestos iónicos. Dos alumnos, uno con la etiqueta Na y otro con la etiqueta Cl, representarán la formación de los iones Na^+ y Cl^- (dando la vuelta a su etiqueta, ya que por detrás tendrán escritos los iones correspondientes) y del compuesto NaCl por atracción de cargas de signo opuesto. A continuación, 12 alumnos se distribuyen en 3 filas de 4 formando una red cristalina de NaCl, alternando alumnos con la etiqueta Na^+ y Cl^- . Deberán explicar los elevados puntos de fusión por la atracción de cargas y ejemplificarán, desplazando planos cristalinos, la fragilidad como enfrentamiento de cargas opuestas. Otros 12 alumnos con etiquetas de H_2O ayudarán a mostrar la solubilidad en agua, pues se introducirán entre los iones rompiendo la red cristalina, y el movimiento de los alumnos en todo el sistema permitirá observar la conductividad de los compuestos iónicos en disolución.

Segunda parte: justificación de las propiedades de los compuestos covalentes moleculares y fuerzas intermoleculares. 12 alumnos con etiquetas de H_2O ejemplificarán, en base a la teoría cinético-molecular, los cambios de estado, empezando por el estado sólido y aumentando la temperatura. Como cada alumno representará a una molécula, se comprenderá que las fuerzas que mantienen unidas las moléculas en estado sólido son intermoleculares, a diferencia de las fuerzas que mantienen unidos a los átomos, que son enlaces químicos. Otros 6 alumnos con etiquetas de Etanol se *mezclarán* con los alumnos que representan el agua, y con ello se explicará que sustancias con fuerzas intermoleculares del mismo tipo son miscibles, mientras que otros 6 alumnos con etiquetas de CCl_4 no llegarán a mezclarse, ya que las fuerzas intermoleculares en el agua y en el CCl_4 son de

distintos tipos. No se entrará en detalles pero se introducirá la idea de que semejante disuelve a semejante.

Tercera parte: justificación de las propiedades de los compuestos covalentes atómicos. 6 alumnos, con etiquetas de C, se enlazarán fuertemente cogiéndose por los brazos para representar la red de átomos en el diamante. Los alumnos mostrarán las propiedades, ejemplificándolas mediante la fuerza con la que se unen entre ellos (punto de fusión, dureza, insolubilidad y aislante de la electricidad).

6.4 Actividades de repaso

1. Razona si las siguientes frases son verdaderas o falsas

- En el cloruro de sodio, NaCl, las moléculas están formadas por un átomo de sodio y uno de cloro unidos mediante enlace iónico.
- Las uniones iónicas son más fuertes que las covalentes, por eso las sustancias iónicas tienen puntos de fusión más elevados.

2. Completa la siguiente tabla:

Elemento	Símbolo químico	Grupo	Metálico (sí o no)	Nº de electrones de valencia	Ión más probable
Potasio					
Cloro					
Bromo					
Magnesio					
Oxígeno					
Neón					
Litio					
Carbono					
Bario					

3. Para las siguientes sustancias: Ag, CaF₂, Ar, Na₂S, CH₄, KI, Cl₂, CO₂, SiO₂, Ca,

- Identifica el tipo de átomos (metálicos o no metálicos) que participan y analiza el enlace químico según sus electronegatividades.
- Indica de qué tipo de sustancia pura se trata y discute el estado físico en que probablemente se encuentre cada una de ellas.
- ¿Cuáles de ellas son solubles en agua? ¿Cuáles conducen la electricidad en estado sólido?
- Comenta brevemente qué significado tiene su fórmula química.

4. Dibuja el diagrama de Lewis de las sustancias covalentes moleculares del ejercicio anterior.

5. Analiza los datos recogidos en la tabla y relaciona cada letra con la sustancia de que se trata.

Sustancia	Estado físico	Punto de fusión/ebullición	Solubilidad	Conductividad
A	Sólido muy duro	3550 °C	No	No
B	Líquido volátil	56 °C	Sí	No
C	Sólido frágil	801 °C	Sí	En disolución sí
D	Sólido blando	650 °C	No	Sí

A	Cloruro de sodio (NaCl)
B	Acetona (C ₃ H ₆ O)
C	Diamante (C)
D	Magnesio (Mg)

6. Para las sustancias del ejercicio anterior, realiza dibujos que muestren cómo se encuentran las partículas (átomos, iones o moléculas) que los constituyen, en el estado de agregación en que están a temperatura ambiente y presión atmosférica.

Para profundizar:

Los distintos casos de enlace que hemos estudiado (iónico, covalente y metálico) corresponden a situaciones ideales, y son pocas las sustancias puras que se ajustan a la perfección. En realidad, en las sustancias se verifican características intermedias, debido a la variación gradual de electronegatividades en la tabla periódica, pero usamos los modelos porque son útiles para hacer las clasificaciones que tanto necesitan los científicos para poder trabajar.

7. El **cloruro de hidrógeno** (HCl) es una **sustancia gaseosa pero muy soluble en agua**. Las disoluciones de cloruro de hidrógeno son **conductoras de la corriente eléctrica**. El cloruro de hidrógeno se clasifica como sustancia covalente molecular. Argumenta por qué es una **sustancia covalente molecular** y no es un compuesto iónico. Según esto, ¿qué característica es indispensable para que una sustancia sea un compuesto iónico?

6.5 Examen final de la unidad

El examen consta de cinco preguntas de opción múltiple y cuatro afirmaciones para justificar la veracidad o falsedad, adaptadas del trabajo de García y Garritz (2006). A continuación se muestra un posible modelo.

Este examen se puntuará sobre un total de 4.0 puntos. Las respuestas correctas suman 0.4 puntos y las incorrectas NO restan. En caso de que sea necesario, se podrá consultar la tabla periódica.

RODEA LA OPCIÓN CORRECTA:

1. El átomo de magnesio, Mg, está en el grupo 2 de la tabla periódica. Por tanto:

- a. Es un elemento metálico, poco electronegativo, y tenderá a formar aniones con carga -2.
- b. Tiene dos electrones en su capa de valencia y tenderá a formar aniones de carga -2.
- c. Es un elemento no metálico, bastante electronegativo, y tenderá a formar cationes con carga +2.
- d. Tiene dos electrones en su capa de valencia y tenderá a formar cationes de carga +2.

2. El amoníaco, NH₃, es:

- a. Un gas formado por moléculas en las que átomos de nitrógeno e hidrógeno, con electronegatividades muy distintas, se disponen en una red cristalina intercambiando electrones.
- b. Un gas formado por moléculas en las que un átomo de nitrógeno y tres átomos de hidrógeno, con electronegatividades muy distintas, forman iones que se unen como ejemplo de caso iónico del enlace químico.
- c. Un gas formado por átomos de nitrógeno y de hidrógeno que se mueven aleatoriamente de acuerdo con la teoría cinético-molecular.

- d. Un gas formado por moléculas en las que un átomo de nitrógeno y tres átomos de hidrógeno, con electronegatividades similares, comparten pares de electrones, como ejemplo de caso covalente del enlace químico.

3. El bromuro de sodio, NaBr, es una sustancia:

- a. Covalente molecular ya que está formada por moléculas con un átomo de sodio y uno de bromo, unidos entre sí por enlace covalente.
- b. Iónica ya que está formada por una red cristalina en la que hay un anión bromuro, Br^- , por cada catión sodio, Na^+ .
- c. Iónica ya que está formada por una red cristalina en la que hay millones de moléculas con un átomo de sodio y otro de bromo.
- d. Iónica ya que está formada por una red cristalina en la que hay un átomo de bromo, Br, por cada átomo de sodio, Na.

4. Una sustancia desconocida es un sólido conductor de la electricidad, con un punto de fusión de 1085 °C. Se trata de:

- a. Cloruro de sodio, un compuesto covalente molecular que además es soluble y muy frágil.
- b. Carbono diamante, un compuesto covalente atómico que además es insoluble en agua y muy duro.
- c. Cobre, un metal que además es insoluble en agua, dúctil y maleable.
- d. Cloruro de sodio, un compuesto iónico que además es frágil y conduce la electricidad en disolución acuosa.

5. La acetona es una sustancia covalente molecular líquida a temperatura ambiente y miscible con agua debido a que:

- a. Las fuerzas entre las moléculas de acetona son **similares** a las fuerzas entre moléculas de agua.
- b. Las fuerzas entre los átomos de las moléculas de acetona son **similares** a las fuerzas entre los átomos de las moléculas de agua.
- c. Las fuerzas entre las moléculas de acetona son **distintas** de las fuerzas entre moléculas de agua.
- d. Las fuerzas entre los átomos de las moléculas de acetona son **distintas** de las fuerzas entre los átomos de las moléculas de agua.

JUSTIFICA SI SON VERDADERAS O FALSAS LAS SIGUIENTES AFIRMACIONES:

- 6. Todos los compuestos iónicos son solubles en agua y tienen moléculas en su interior.**

- 7. Algunas sustancias covalentes moleculares son sólidos con puntos de fusión bajos debido a las fuerzas intermoleculares.**

- 8. Sólo los metales conducen la electricidad en estado sólido.**

- 9. Ninguna sustancia covalente conduce la electricidad.**

- 10. En las sustancias covalentes atómicas, los átomos se mantienen unidos por enlaces covalentes que forman una red tridimensional.**