

Diseño e implementación de una propuesta didáctica plurimetodológica para introducir el enlace químico en 3º Curso de Educación Secundaria Obligatoria (E.S.O)

M^a Esther González-Felipe¹, Constancio Aguirre-Pérez², Rosa M^a Toledano³, Raquel Fernández César⁴ y Ana Vázquez-Moliní³

¹IES Duque de Alarcón Valera de Abajo, Cuenca (España). ²Facultad de Educación de Cuenca (España). ³Facultad de Educación de Albacete (España) ⁴Facultad de Educación de Toledo (España). E-mails: mesther2202gf@hotmail.com; constancio.aguirre@uclm.es; rosam.toledano@uclm.es; raquel.fcezar@uclm.es; ana.vazquez@uclm.es

Resumen: En este trabajo se elabora una secuencia didáctica plurimetodológica para la introducción del concepto de enlace químico para alumnos de 3º ESO (Educación Secundaria Obligatoria) que propicia la participación activa de los estudiantes y el aprendizaje cooperativo, y en la que la metodología ECBI (Enseñanza de las Ciencias Basada en la Indagación) desempeña un papel fundamental. La propuesta didáctica consta de 6 fases. Se comienza la secuencia con el estudio de una reacción química de la vida cotidiana (el funcionamiento del airbag de un coche) planteada como una pequeña investigación que los alumnos deben resolver mediante la indagación. En la última fase se introduce el concepto de enlace químico. Participaron un total de 123 alumnos; 57 constituyeron el grupo control (GC) y 63 el grupo experimental (GE). Para evaluar la propuesta se elaboró un test que se pasó a los estudiantes antes y después del proceso de enseñanza/aprendizaje. Los resultados muestran que el aprendizaje de los alumnos del GE fue significativamente mejor que el de los estudiantes del GC.

Palabras clave: secuencia didáctica plurimetodológica, enlace químico, ECBI.

Title: Design and implementation of a plurimethodological didactic proposal to introduce chemical bonding in 3rd Compulsory Secondary Education grade.

Abstract: This paper presents a plurimethodological teaching sequence for the introduction of chemical bonding to students of 3rd Compulsory Secondary Education (E.S.O) year. The teaching sequence promotes the active participation of students by means of cooperative learning and the Inquiry-Based Learning (IBL) o Inquiry-Based Science Education (IBSE). IBL methodology plays a key role in the proposed teaching sequence. The didactic proposal consists of 6 phases. The sequence begins with the study of an everyday life chemical reaction (the operation of a car airbag) raised as a small-scale research project that students must conduct through inquiry. The concept of chemical bond is introduced in the last phase. The sample is composed by 123 students, among which 57 belong to the control

group (CG) and 63 to the experimental group (GE). To evaluate the proposal a test was delivered to students before and after the teaching/learning process. The results show that GE students' comprehension of chemical bonding was significantly better.

Keywords: plurimethodological teaching sequence, chemical bonding, ECBI.

Introducción

El enlace químico es un concepto fundamental en el estudio de la química, pero a la vez es uno de los conceptos más difíciles y complejos (Levy, Mamlok-Naaman, Hofstein, y Taber, 2010). Los alumnos presentan dificultades para su comprensión debido a diversas razones entre las que podemos resaltar (Alvarado, 2005; Raviolo y Lerzo, 2016):

- Es un concepto de naturaleza abstracta que requiere para su comprensión la correcta utilización de los 3 niveles de representación: macroscópico, microscópico y simbólico, que frecuentemente son mezclados por el profesorado sin diferenciarlos claramente.

- Requiere la comprensión de una gran cantidad de conceptos como átomo, molécula, estructuras cristalinas, naturaleza corpuscular y eléctrica de la materia, etc.

- Los alumnos no lo relacionan con evidencias de la vida cotidiana y las ideas previas que presentan son incompletas y/o incorrectas.

- Los profesores y los libros de texto suelen presentar una visión limitada del enlace y utilizan modelos y analogías confusos.

La ineficacia de la enseñanza tradicional en la introducción de conceptos químicos, tan abstractos y complejos como la naturaleza de la materia y el enlace químico, ha sido demostrada por diversos autores (Karacop y Doymus, 2013). Es por ello que desde hace unos años se vienen proponiendo diferentes alternativas metodológicas como el aprendizaje cooperativo y la ECBI y estrategias como las discusiones en grupo y las visualizaciones de simulaciones con ordenador, que propicien la participación activa de los estudiantes (Hanze y Berger, 2007).

El aprendizaje cooperativo es una metodología en la que los estudiantes trabajan en pequeños grupos en los que la cooperación de unos con otros es imprescindible para alcanzar los objetivos (Doymus, 2008; Hennessy y Evans, 2006; Johnson, Johnson y Smith, 2007; O'Leary y Griggs, 2010). Esta metodología presenta una mayor efectividad en el aprendizaje de conceptos que los métodos de aprendizaje individual y competitivo.

La ECBI fue propuesta como método de enseñanza por primera vez en 1996 (Caamaño, 2012). En la enseñanza de la química a través de la ECBI (Cheung, 2011) los profesores plantean situaciones problema que los estudiantes deben resolver proponiendo hipótesis, diseñando y realizando experimentos, analizando los datos y sacando conclusiones, es decir, utilizando el método hipotético-deductivo (Garritz, 2010). Esta metodología de enseñanza, además de favorecer el desarrollo de la competencia científica en los alumnos (Reyes-Cárdenas y Padilla, 2012), incrementa la comprensión conceptual (Minner, Levy y Century, 2010).

En los programas de ECBI desarrollados en América Latina, se plantean cinco etapas: focalización, exploración, reflexión, aplicación y evaluación. En la etapa de focalización se propicia el interés del estudiante, en la etapa de exploración es en la que los estudiantes desarrollan sus investigaciones, en la etapa de reflexión deben presentar sus conclusiones, en la de aplicación debe extrapolar el aprendizaje a eventos cotidianos y en la evaluación se ven los resultados en los aprendizajes obtenidos por los estudiantes (Azcátegui y Betancourt, 2013).

Existen cuatro tipos diferentes de indagación, dependiendo de lo que se pretende que realicen los estudiantes (Martín-Hansen, 2002): indagación abierta, en la que el objetivo es que el estudiante realice todas las etapas de la investigación; indagación guiada en la cual el profesor plantea alguna pregunta y los alumnos deben realizar experimentos para responderla con el apoyo del profesor; indagación acoplada en la que el profesor selecciona la pregunta a investigar pero deja al estudiante que busque la solución y, finalmente indagación estructurada que es una indagación dirigida por el profesor. De acuerdo con Romero-Ariza (2017) los mejores resultados de aprendizaje se obtienen con la indagación guiada. En el presente trabajo se ha diseñado e implementado una secuencia didáctica plurimetodológica para introducir el concepto de enlace químico a estudiantes de tercer curso de E.S.O. que motive a los alumnos y facilite la comprensión de los conceptos químicos y en la que la ECBI y el aprendizaje cooperativo juegan un papel fundamental.

La hipótesis que nos planteamos es que la utilización de metodologías didácticas que propicien la participación del estudiante junto a la introducción de conceptos por parte del docente, en el momento en el que los estudiantes están ya motivados por el tema, (metodología plurimetodológica) facilita la comprensión de conceptos. Para comprobar dicha hipótesis se plantearon los siguientes objetivos:

- Desarrollar e implementar una secuencia didáctica plurimetodológica para la introducción del concepto de enlace químico como un concepto necesario para explicar las propiedades y estructuras de los distintos tipos de sustancias.
- Evaluar la eficacia de dicha secuencia.

Metodología

Participantes

La propuesta didáctica va dirigida a estudiantes de 3º ESO, curso en el que de acuerdo con el currículo establecido en la Ley de la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE) únicamente se introduce el concepto de enlace químico desarrollándose su estudio en los cursos posteriores. Por este motivo la propuesta se ha diseñado para introducir el concepto de enlace químico como una consecuencia lógica tras la realización de diversas actividades sobre los cambios químicos, las propiedades de las sustancias y el análisis de su estructura.

Participaron en esta investigación 6 grupos de alumnos matriculados en 3º ESO en un Instituto de Enseñanza Secundaria (IES) de Albacete (España), con edades de 14-15 años. 57 alumnos siguieron una enseñanza

tradicional y constituyeron el grupo control (GC); 63 alumnos constituyeron el grupo experimental (GE) y siguieron la secuencia didáctica diseñada. Dada la no aleatoriedad en la distribución de alumnos en cada grupo, este trabajo presenta un diseño cuasi-experimental.

La enseñanza que habían recibido hasta aquel momento todos los estudiantes había sido una enseñanza tradicional fundamentada en la transmisión verbal de conocimientos. Durante el curso académico en el cual se llevó a cabo la experiencia didáctica recibieron igualmente una enseñanza tradicional en todos los temas de la asignatura Física y Química excepto en el tema «Elementos y compuestos químicos» en el cual se utilizó la secuencia didáctica diseñada con el GE. El GC siguió igualmente una enseñanza tradicional en este tema.

Para comprobar el aprendizaje de los conceptos científicos se elaboró un test que se pasó a cada grupo de estudiantes antes (pretest) y al finalizar (postest) el proceso de enseñanza.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó con el programa SPSS (Software Package for Social Sciences) versión 22. Se estudia como variable cuantitativa los aciertos obtenidos en el pretest y en el postest, tanto en el GC como en el GE. Se analiza la normalidad de la distribución de la variable aciertos-pretest y aciertos-postest en relación a la pertenencia de los alumnos al grupo control o grupo experimental mediante test de Kolmogorov-Smirnov. Al obtenerse que es normal ($p=.000$), los contrastes de hipótesis serán paramétricos, mediante T-Student o ANOVA en su caso. Todos los contrastes se realizan al nivel de significación $p<.05$, salvo que se indique otra cosa. Se consideran muestras independientes cuando se compara GE con GC y muestras pareadas cuando se compara el antes y el después dentro de cada grupo. El coeficiente de correlación de Pearson entre aciertos-pretest y aciertos-postest es pequeño, 0.294, por lo que acertar se considera independiente del grupo al que pertenece el alumnado.

Resultados y discusión

Diseño de la secuencia didáctica

Las fases de la secuencia didáctica propuesta se muestran en la Figura 1.

En cada una de las fases se plantean unos objetivos de enseñanza que se pretenden cubrir con las actividades diseñadas (Tabla 2). La secuencia didáctica propuesta comienza con el estudio de una reacción química de importancia en la vida cotidiana, a partir de lo cual se introduce la idea de que en las reacciones químicas se producen nuevas sustancias, diferenciado claramente los cambios químicos de los físicos. Las reacciones químicas se presentan como procesos en los que cambian las sustancias iniciales y dan lugar a nuevas sustancias con propiedades características, que dependen de cómo estén constituidas las sustancias a nivel microscópico, tanto de las partículas que las constituyen como de las uniones entre ellas, lo que nos lleva al estudio del enlace químico. En las reacciones químicas se produce la ruptura y la formación de nuevos enlaces químicos, dando lugar, por tanto, a nuevas sustancias. El estudio de las reacciones químicas y de las propiedades de las sustancias lleva a la necesidad de estudiar el enlace

químico para explicar el comportamiento de los distintos tipos de sustancias. La secuencia didáctica propuesta se asemeja al proceso ocurrido en la historia de la Química. Aunque ya en la antigüedad Demócrito concebía los átomos con ganchos que permitían su unión, la prevalencia durante siglos de las ideas Aristotélicas llevó a que hasta el siglo XVII la preocupación de los científicos se centraría en conocer las propiedades de las sustancias y de los productos que se obtienen cuando reaccionan entre ellas y es muy posteriormente, cuando se admite la existencia de los átomos con la teoría atómica de Dalton, cuando comienzan a plantearse cómo se unen las partículas entre sí (Livage, 1981).

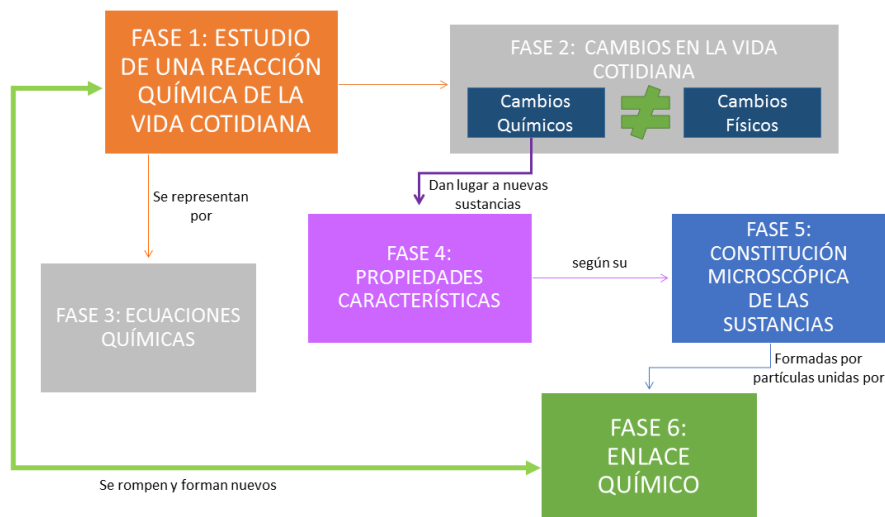


Figura 1.- Diagrama de flujo de la secuencia didáctica diseñada.

La secuencia didáctica se basa en la propuesta por Caamaño (2016) que propone introducir el enlace tomando como referencia la estructura de las sustancias en estado sólido al buscar relacionar las propiedades de las sustancias sólidas con su estructura y el enlace. Se adoptó un enfoque plurimetodológico que incluye ECBI, aprendizaje cooperativo, aprendizaje mediante la TICs y presentación de conceptos por parte de la profesora. Se hace hincapié en el trabajo cooperativo y en la discusión y el debate guiados por el docente. Sin embargo, esto no excluye que el docente presente algunos conceptos, en determinados momentos de la secuencia, con el propósito de apoyar a los alumnos en la construcción de su conocimiento. En dos de las fases (fases 1 y 4) de la secuencia didáctica se emplean una metodología ECBI guiada. Los alumnos se organizaron en pequeños grupos (4 alumnos) para realizar las distintas actividades.

Implementación de la secuencia didáctica

La secuencia didáctica se llevó a cabo en 13 sesiones de 50 minutos cada una. Las actividades llevadas a cabo en cada una de las fases de la secuencia didáctica fueron las siguientes:

Fase 1: Estudio de una reacción química de la vida cotidiana

Un gran porcentaje de alumnos cree que la Física y Química no sirven para la vida cotidiana, siendo este uno de los factores que más influye en la falta motivación de los alumnos por su estudio. Para aumentar la motivación de los alumnos se comienza la secuencia con el estudio de una reacción química de la vida cotidiana. La investigación que se planteó fue ¿Cómo funciona el airbag de un coche? Se leyó el siguiente texto:

“La bolsa de aire airbag es un sistema de seguridad pasiva instalado en la mayoría de los automóviles modernos. En caso de colisión, las bolsas inflables amortiguan el impacto de los ocupantes del vehículo contra el salpicadero. Se estima que, en caso de choque frontal, su uso puede reducir el riesgo de muerte en un 30% ¿Cómo se inflan rápidamente las bolsas del airbag?”

Se pide a los alumnos que discutan en pequeños grupos cómo creen que se inflan rápidamente las bosas del airbag y que propongan hipótesis.

Para comprobar las hipótesis emitidas deben diseñar un airbag casero a pequeña escala. Para ello se les sugiere que pueden utilizar diferentes materiales: bolsas, globos, un muelle, un inflador, bicarbonato sódico, vinagre, etc. Tras la «construcción del prototipo del airbag casero» cada grupo presenta a la clase su prototipo y explica su funcionamiento. Toda la clase discute las ventajas e inconvenientes de los modelos presentados. La profesora guía a los estudiantes para que lleguen a la conclusión de que el funcionamiento del airbag debe basarse en una reacción química que genere rápidamente un gas que infla el airbag, tras lo cual todos los grupos construyen un «airbag casero» basado en la reacción entre el bicarbonato y el vinagre y se les explica que al reaccionar ambos compuestos se desprende CO_2 que es el gas que llena el globo. A continuación, la profesora explica el funcionamiento del airbag de un coche basado en la reacción de descomposición de la ácido de sodio.

Fase 2: Cambios físicos y cambios químicos de la vida cotidiana

Se proyectan en clase varias imágenes sobre cambios físicos y químicos de la vida cotidiana. Se pide a los alumnos que en pequeños grupos discutan las diferencias entre ambos tipos de cambios. Se ponen en común las conclusiones sacadas por lo grupos y la profesora explica las diferencias entre los cambios químicos y físicos. En pequeños grupos se realizan actividades interactivas (www.lamanzanadeneutron.com).

Fase 3: Representación de reacciones químicas

Para el estudio microscópico y simbólico de las reacciones químicas se recurre al estudio de la reacción de combustión del metano. Para el nivel microscópico, los alumnos hicieron manualmente y por grupos, un modelo de bolas, utilizando palillos y plastilina, que les permitía romper las uniones (enlaces) entre los átomos y formar nuevas. El nivel simbólico fue introducido por la profesora.

Fase 4: Propiedades características de las sustancias

En esta fase se utiliza de nuevo la metodología ECBI. La profesora plantea el problema a investigar:

“Las sustancias puras presentan propiedades características que permiten identificarlas. ¿Qué propiedades podemos utilizar para caracterizar a las sustancias? ¿Cómo podemos medirlas?”

Se pide a los alumnos que debatan en pequeños grupos qué propiedades utilizarían para identificar los distintos tipos de sustancias. A continuación, se pone en común las propuestas de los distintos grupos y se acuerda determinar las siguientes propiedades: la temperatura de fusión, la solubilidad y la conductividad eléctrica.

Se les pide a los distintos grupos que elaboren un diseño experimental para medir cada una de estas propiedades. Las propuestas hechas por cada grupo se debaten en clase y se acuerda (orientados por la profesora) utilizar el diseño experimental que se indica a continuación. La determinación de estas propiedades se hará de una forma cualitativa. Se utilizan 5 sustancias, desconocidas para los alumnos, que se nombran como A, B, C, D y E.

Para la determinación de la temperatura de fusión se introduce una determinada cantidad de sustancia en un tubo de ensayo y se calienta a la llama de un mechero hasta que se observa que la sustancia ha fundido totalmente. Si pasados 30 s la sustancia no ha fundido se considerará que tiene un punto de fusión elevado (teniendo en cuenta que la llama tiene una temperatura de 600°C) Para la solubilidad se pone una determinada cantidad de sustancia en un tubo de ensayo y se añade una cierta cantidad de agua, tras agitar se deja reposar y se observa si la sustancia se ha disuelto. Para determinar la conductividad se monta un circuito con una pila de petaca de 4,5 V y una bombilla 2,5 V, intercala las distintas sustancias y se observa si la bombilla se enciende o no, lo que indicará si la sustancia es o no conductora en estado sólido. De igual manera se observa la conductividad en disolución acuosa en aquellas sustancias solubles en agua.

Los distintos grupos observan las propiedades de las 5 sustancias de forma cualitativa y anotan en sus cuadernos las observaciones realizadas. La profesora indica a los alumnos que para analizar los resultados obtenidos es conveniente registrar los datos en una tabla en la que comparen cada sustancia con las diferentes propiedades estudiadas en el laboratorio, y les propone que diseñen una tabla (Tabla 1).

Los alumnos comparan los datos registrados en la Tabla 1 y observan que sólo dos de las sustancias se disuelven en agua, pero una de ellas conduce la corriente y la otra no, pero ninguna de las dos conduce en estado sólido; una de ellas funde a baja temperatura y la otra tiene un punto de fusión alto. De las otras tres sustancias, sólo una de ellas tiene punto de fusión bajo y de las otras dos una de ellas conduce la corriente eléctrica en estado sólido. La profesora plantea a la clase la siguiente cuestión “¿De los datos obtenidos, podemos sacar alguna información sobre cómo están constituidas estas sustancias?”. Los alumnos debaten en pequeños grupos y la profesora explica que las propiedades macroscópicas que presentan las sustancias dependen de cómo estén constituidas las sustancias a nivel microscópico y les proporciona un diagrama de flujo (Figura 2) que les

permitirá obtener conclusiones sobre la constitución microscópica de las sustancias atendiendo a las propiedades observadas.

Sustancia	Punto de fusión* (Alto/bajo/muy bajo)	Solubilidad en agua (Si/No)	Conductividad eléctrica (Si/No)
A			
B			
C			
D			
E			

Tabla 1.- Tabla elaborada por los alumnos para registrar los datos obtenidos. (*Alto: no funde pasados los 30 s; Bajo: funde durante los 30 s; muy bajo: funde nada más ponerlo a la llama)

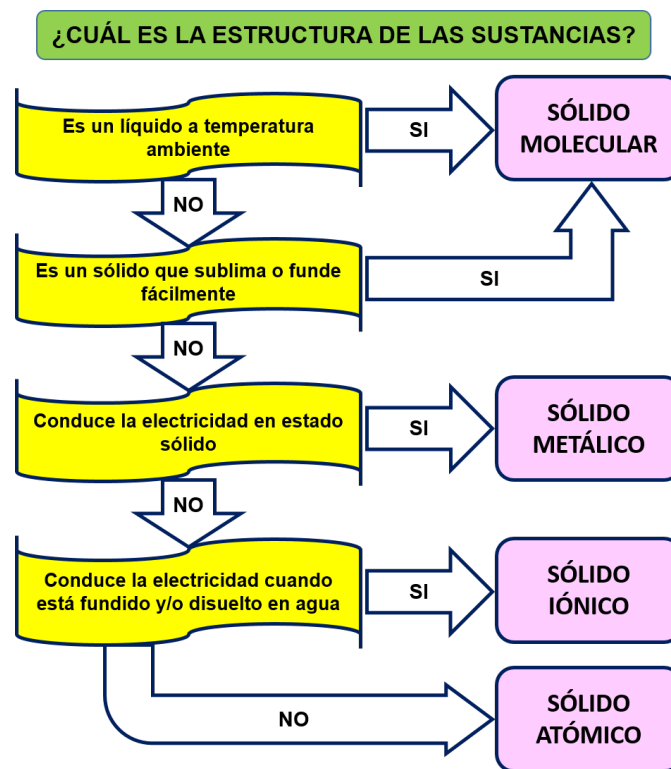


Figura 2.- Diagrama de flujo para conocer la estructura microscópica de las sustancias (Fuente modificada de blog.educastur.es/eureka/).

Fase 5: Constitución a nivel microscópico de las sustancias

Las visualizaciones con ordenador son de gran ayuda en la enseñanza de conceptos químicos, sobre todo cuando se está trabajando a nivel microscópico ya que ayudan a los estudiantes al desarrollo de modelos (Chittleborough y Treagust, 2007; Russell y Kozma, 2005). Se utilizó una visualización de las estructuras cristalinas más comunes de compuestos iónicos y metálicos

(http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/93_iniciacion_interactiva_materia/curso/materiales/enlaces/enlaces1.htm)

El profesor dirige al alumno para que conociendo las propiedades de cada sustancia puedan relacionarlas con el tipo de estructura que presenta e identifiquen las partículas que la constituyen y las uniones que existen entre ellas.

Fase 6: Introducción al enlace químico

Una vez establecida la importancia de estudiar la forma en la que las partículas se unen para formar los cristales se introduce el concepto de enlace químico por parte de la profesora. Es de resaltar que en el curso de 3º de ESO, el enlace químico no se trata en profundidad, pero se siguió la propuesta de Taber (2011) que indica que se debería comenzar con el estudio del enlace metálico, continuar con el iónico y finalizar con el covalente, estudiando en primer lugar los cristales (metálicos e iónico) y terminando con las moléculas discretas covalentes, para evitar el error conceptual frecuentemente presentado por los estudiantes de pensar en la existencia real de moléculas iónicas y de que los cristales iónicos están formados por moléculas. En la tabla 2 se indica, para cada una de las fases de la propuesta, los objetivos, la metodología didáctica, las actividades y las sesiones que se emplearon.

FASES	OBJETIVOS	ACTIVIDADES	METODOLOGÍA	SESIONES
1. Estudio de una reacción química de la vida cotidiana	Motivar a los alumnos para el estudio del enlace	Funcionamiento del airbag	ECBI	3
2. Cambios físicos y químicos de la vida cotidiana	Conocer las diferencias entre cambio físico y cambio químico	Proyecciones de cambios físico y químicos	Explicación/ Proyecciones	2
3. Representación de las reacciones químicas	Conocer las reacciones químicas a nivel microscópico y simbólico	Modelo de bolas con plastilina	Explicación/ Actividades prácticas	2
4. Propiedades características de las sustancias	Desarrollar destrezas para la investigación en el laboratorio	Medida de propiedades características de las sustancias	ECBI	4
5. Constitución de las sustancias	Reconocer las partículas que constituyen un sólido	Proyecciones de estructuras de sustancias	Explicación/ Proyecciones	2
6. Introducción al enlace químico	Asociar las propiedades de las sustancias a las fuerzas que mantienen unidas las sustancias	Introducción al estudio del enlace químico	Explicación	2

Tabla 2.- Fases de la secuencia didáctica diseñada, objetivos de cada fase, actividades, metodología utilizada y sesiones que se emplearon.

Elaboración del cuestionario sobre conceptos científicos

Para evaluar la eficacia de la secuencia didáctica se elaboró un cuestionario, basado en el utilizado por Furió-Más, Domínguez-Sales, y Guisasola (2012), que constaba de 7 preguntas. En todas las preguntas (exceptuando la 2) se les pide a los estudiantes que razonen su respuesta para inferir el razonamiento utilizado, de tal forma que para clasificar las respuestas como «correcta» o «incorrecta» no se tuvo solamente en cuenta el resultado. El cuestionario se pasó al GC y al GE en una sesión de clase sin previo aviso antes de la enseñanza y un mes después de finalizar la enseñanza.

Resultados del cuestionario

En la tabla 3 se muestran la media, desviación típica, mediana y valores máximo y mínimo de la variable aciertos tanto en el pretest como en el postest, así como el incremento del número total de aciertos calculado como los obtenidos en el postest menos los obtenidos en el pretest por cada alumno.

		ACIERTOS PRETEST	ACIERTOS POSTEST	INCREMENTO
GC	Media	1.65	2.05	.40
	Mediana	1.00	2.00	1.00
	Desviación típica	1.51	1.42	1.77
	Mínimo	0	0	-3
	Máximo	5	7	6
GE	Media	1.48	3.08	1.60
	Mediana	1.00	3.00	2.00
	Desviación típica	1.13	1.86	1.74
	Mínimo	0	0	-1
	Máximo	5	6	5

Tabla 3.- Estadísticos descriptivos de aciertos pretest, postest e incremento de aciertos.

El contraste de hipótesis de igualdad de medias T-student indica que hay diferencias significativas entre las medias antes y después de abordar el tema del enlace químico en ambos grupos ($p= 0.018$ para GE y $p= 0.000$ para GC). Por lo tanto, constatamos que, tanto con la secuencia didáctica plurimetodológica como con la metodología tradicional, aumenta el porcentaje de respuestas correctas después del proceso de enseñanza. Pero la pregunta que nos planteamos es ¿cuál de las dos metodologías es más eficaz? Para responder a esta pregunta comparamos entre sí los resultados del GE y del GC, tanto antes (para saber si la situación de partida es similar para ambos grupos) como después de la intervención (para saber qué metodología utilizada es más efectiva).

Parecería que la situación de partida de ambos grupos (aciertos pretest) es diferente al comparar las medias que se muestran en la primera columna. Para comprobarlo, realizamos un contraste de hipótesis de igualdad de medias tipo T-student, con el cual concluimos que no podemos descartar la igualdad de las mismas ($p= 0.476$). Por tanto, el punto de

partida de conocimiento sobre enlace químico, medido con los aciertos en nuestro test, es estadísticamente el mismo en GC y GE.

La segunda columna, aciertos postest, se toma tras la aplicación de la secuencia didáctica propuesta en el GE y el empleo de la enseñanza tradicional con el GC. Al comparar de nuevo las medias entre sí mediante contraste de hipótesis, obtenemos en este caso que las medias sí son diferentes ($p= 0.001$).

En la tercera columna se muestra el incremento, calculado como la media de los incrementos entre aciertos postest y aciertos pretest para cada alumno. Sigue una distribución normal (test K-S; $p=0.10$) y el test T-student indica que sí hay diferencias significativas entre ambos grupos ($p<0.000$), lo cual es consistente y refuerza la afirmación respecto a la diferencia significativa entre los aciertos postest entre ambos grupos.

Como es mayor la media de aciertos en el GE, el incremento observado en este grupo es mayor. Por lo tanto, podemos decir que el GE mejora significativamente más que el GC, y dado que partían de situaciones de conocimiento similares, constatamos que la propuesta plurimetodológica empleada resulta más eficaz para la enseñanza del enlace químico que la enseñanza tradicional.

Refuerza también esta afirmación que hacemos sobre el efecto positivo de la propuesta el análisis de la posible asociación (test chi-cuadrado de Pearson) entre los aciertos pretest y aciertos postest, y la pertenencia al GE o al GC. Obtenemos que mientras que la variable aciertos pretest no está asociada con el grupo ($\chi^2 (5, N=120)= 7.956; p=0.159$), la variable aciertos postest sí lo está ($\chi^2 (7, N=120)= 27.638; p<0.000$), así como el incremento ($\chi^2 (9, N=120)= 38.577; p<0.000$). Esa asociación la relacionamos con el empleo con el GE de la propuesta didáctica plurimetodológica para el tema de enlace químico.

En la Tabla 4 se muestra el % de respuestas correctas antes y después de la enseñanza para el GE y el GC, así como la variación en % de respuestas correctas tras la enseñanza en ambos grupos. Como puede observarse, después del proceso de enseñanza/aprendizaje, el GE presenta un mayor porcentaje de respuestas correctas en 6 de las 7 preguntas del test. A continuación, se comentan los resultados obtenidos para cada una de las preguntas en el postest.

La pregunta 1 tiene por objetivo saber si los alumnos conocen cómo se forman los iones implicados en la formación del enlace iónico. El 60,32 % de los estudiantes del GE y el 59,65 % del GC respondieron correctamente. Los resultados de ambos grupos son muy semejantes.

Se les pidió a los estudiantes que razonaran sus respuestas, pero los razonamientos que dieron fueron muy escuetos, pero se constata que los alumnos presentan dificultades para diferenciar los conceptos de átomo y de ion. Dificultades que también presentaron los científicos contemporáneos de Arrhenius en su momento histórico (De Posada, 1999). El que los alumnos entiendan la diferencia entre los iones y los átomos de los que proceden es fundamental para que comprendan que tienen distintas propiedades y que su comportamiento químico es distinto, lo que es fundamental para entender el enlace químico.

Cuestiones	% Respuestas correctas (GC)		Incremento (%)	% Respuestas correctas (GE)		Incremento (%)
	Pretest	Postest		Pretest	Postest	
1	33,33	59,65	26,32	36,51	60,32	23,81
2	15,80	54,39	38,59	31,75	46,03	14,28
3	10,53	5,26	-5,27	4,76	52,38	47,62
4	5,26	14,03	8,77	11,11	28,57	17,46
5	10,53	19,30	8,77	22,22	33,33	11,11
6	0,00	3,51	3,51	4,76	17,46	12,7
7	10,53	42,10	31,57	34,92	49,20	14,28

Tabla 4.- Respuestas correctas antes y después de la enseñanza del GE y del GC.

La pregunta 2 tiene por objetivo saber si los alumnos comprenden que los átomos se pueden unir entre sí, sean idénticos o no, y que estas uniones explican la existencia de la mayoría de las sustancias conocidas que se caracterizan por la constancia de su composición. Algo más de la mitad de los alumnos responde correctamente (49,2 % en el GE y los 54,4 % en el GC). De las respuestas incorrectas, la mayoría de los alumnos tanto del GE como del GC señalan la opción d, lo que nos indica que los alumnos saben que en las sustancias puras los átomos pueden ser iguales (elementos) o distintos (compuestos) pero piensan que pueden encontrarse en cualquier proporción debido a que no diferencian las mezclas de las sustancias puras. De nuevo constatamos que los alumnos tienen dificultades en comprender conceptos que fueron difíciles de establecer en su momento histórico. En la Tabla 5 se muestran las respuestas dadas por los estudiantes del GE y del GC.

Grupo	Respuesta a	Respuesta b	Respuesta c	Respuesta d	Respuesta e	En blanco
GE (%)	3,18	6,35	49,20	34,92	1,59	4,76
GC (%)	3,50	0	54,39	31,58	0	10,53

Tabla 5.- Respuesta a la pregunta 2 de los alumnos del GE y GC.

La pregunta 3 se plantea con el objetivo de saber si los alumnos comprenden que las sustancias poseen propiedades características. Es en esta pregunta en la que el GE presenta un porcentaje de respuestas correctas (52,38 %) muy superior al GC (5,26%). Esta gran diferencia posiblemente se debe al distinto enfoque dado en la enseñanza en ambos grupos, mientras que en el GC se estudió el enlace y a continuación se explicaron las propiedades de las sustancias, en el GE se estudia en primer lugar las propiedades de las sustancias mediante una metodología activa y participativa de los estudiantes (ECBI) y a continuación se justifican las propiedades por el tipo de partículas que constituyen las sustancias y las uniones entre ellas, es decir, se parte de las propiedades a la construcción del modelo lo que es muy recomendable en este nivel de enseñanza.

La pregunta 4 tiene por objetivo saber si los alumnos diferencian entre sustancias moleculares y redes cristalinas. En este caso el porcentaje de respuestas correctas también es superior en el GE (28,57%) que en el GC (14,03%). Estamos de acuerdo con otros autores en que el concepto de molécula es mejor comprendido por los estudiantes que el de red o estructura cristalina (De Posada, 1999) y muchos alumnos consideran que las sustancias iónicas están constituidas por moléculas (Riboldi, Pliego y Odetti, 2004).

Las preguntas 5 a 7 tienen por objeto ver si los alumnos entienden cómo está constituida la materia a nivel microscópico desde un punto de vista daltoniano. En todas ellas el porcentaje de éxito de los estudiantes es bajo, pero el GE obtiene un mayor porcentaje de éxito que el GC.

En las preguntas 5 y 6 tienen el mismo objetivo, ver si los alumnos son capaces de diferenciar entre mezcla y compuesto. En la pregunta 5 se les pide a los estudiantes que dibujen las partículas que constituyen determinados sistemas materiales, incluyendo mezclas, sustancias simples y compuestos. En la pregunta 6, al contrario, se les da las representaciones y se les pide que la identifiquen.

Llama la atención que los alumnos, tanto a los del GE como a los del GC les resulta más fácil dibujar la representación que identificarla. El porcentaje de respuestas correctas en ambas preguntas es bajo, tanto en el GE como en el GC, aunque el GE casi dobla al GC en el porcentaje de éxito. Esto está de acuerdo con lo señalado por Furió-Más et al. (2012) que ponen de manifiesto la dificultad de los estudiantes para entender el concepto microscópico de sustancia.

Finalmente, la pregunta 7 tiene por finalidad ver si los alumnos entienden que una reacción se produce por ruptura y formación de nuevos enlaces, lo que da lugar a nuevas sustancias. Los resultados indican una mayor comprensión del GE frente al GC, creemos que esto puede explicarse por la secuencia de la propuesta didáctica presentada que se inicia con el estudio de una reacción química.

Conclusiones

El concepto de enlace químico es uno de los más importantes y a la vez más difíciles de entender por los estudiantes, por lo que la forma en que se introduce cuando se comienza su estudio en la educación secundaria es de gran importancia. En este trabajo se presenta una secuencia didáctica plurimetodológica para la introducción del enlace químico en alumnos de 3^o de ESO, que propicia la participación activa de los estudiantes y el aprendizaje cooperativo y en la que la metodología ECBI desempeña un papel fundamental, pero sin olvidar la introducción de conceptos por parte del profesor.

Los alumnos del GE participaron activamente en todas las actividades incluidas en la secuencia didáctica. Presentaron dificultades a la hora de realizar los diseños experimentales y a la hora de registrar los resultados, por lo que tuvieron que ser orientados por la profesora. Así mismo presentaron dificultades en la visualización de estructuras cristalinas. El análisis estadístico muestra que GE mejora significativamente más que el

GC, y por tanto, la propuesta plurimetodológica empleada resulta más eficaz para la enseñanza del enlace químico que la enseñanza tradicional. Los estudiantes del GC tuvieron más dificultades que los estudiantes del GE para asimilar los conceptos químicos, tal como demuestra el resultado del postest aplicado a ambos grupos.

Referencias bibliográficas

Alvarado, C. (2005). La estructura atómica y el enlace químico desde un punto de vista disciplinario. *Enseñanzas de las Ciencias, número extra. VII Congreso*, 1-5.

Azcátegui, Y., y Betancourt, C. (2013), La metodología indagatoria en la enseñanza de las ciencias: una revisión de su creciente implementación a nivel de Educación Básica y Media. *Revista de investigación*, 78(37), 109-127.

Caamaño, A. (2012). ¿Cómo introducir la indagación en el aula? Los trabajos prácticos investigativos. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 70, 83-91.

Caamaño, A. (2016). Secuenciación didáctica para el aprendizaje de los modelos de enlace. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 86, 39-45.

Cheung, D. (2011). Evaluating student attitudes toward chemistry lessons to enhance teaching in the secondary school. *Educación Química*, 22(2), 117-122.

Chittleborough, G., y Treagust, D. F. (2007). The modelling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 274-292.

De Posada, J. M. (1999). Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico antes, durante y después de la enseñanza formal. Problemas de aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 227- 244.

Doymus, K. (2008). Teaching chemical bonding through jigsaw cooperative learning. *Research in Science & Technological Education*, 26(1), 47-57.

Furió-Más, C., Domínguez-Sales, M. C., y Guisasola, J. (2012), Diseño e implementación de una secuencia de enseñanza para introducir los conceptos de sustancia y compuesto químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(1), 113-128.

Garritz, A. (2010). Indagación: las habilidades para desarrollar y promover el aprendizaje. *Educación Química*, 21(2), 106-110.

Hanze, M., y Berger, R. (2007), Cooperative learning, motivational effects, and student characteristics: an experimental study comparing cooperative learning and direct instruction in 12th grade physics classes. *Learning and Instruction*, 17, 29-41.

Hennessy, D., y Evans, R. (2006). Small-group learning in the community college classroom. *Community College Enterprise*, 12(1), 93-109.

Johnson, D. W., Johnson, R. T., y Smith, K. (2007). The state of cooperative learning in postsecondary and professional settings. *Educational Psychology Review*, 19(1), 15-29.

Karacop, A., y Doymus, K. (2013). Effects of Jigsaw Cooperative Learning and Animation Techniques on Students' Understanding of Chemical Bonding and their conceptions of the particulate Nature of Matter. *Journal of Science Education and Technology*, 22, 186-20.

Levy, T., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., y Taber, K. (2010). Teaching and learning the concept of chemical bonding. *Studies in Science Education*, 46(2), 179-207.

Livage, J. (1981). El enlace químico. *Mundo Científico*, 1(1), 54-63

Martin-Hansen, L. M. (2002). Defining Inquiring. *The Science teacher*, 69(2), 34-37.

Minner, D., Levy, A., y Century, J. (2010). Inquiry-Based Science Instruction. What is it and does it matter? Results from a Research Synthesis years 1984-2002. *Journal of Research on Science Teaching*, 47(4), 474-496.

O'Leary, N., y Griggs, G. (2010). Researching the pieces of a puzzle: the use of a jigsaw learning approach in the delivery of undergraduate gymnastics. *Journal of Further and Higher Education*, 34(1), 73-81.

Raviolo, A., y Lerzo, G. (2016). Enseñanza de la estequiometría: uso de analogías y comprensión conceptual. *Educación Química* 27,195-204.

Reyes-Cárdenas, F., y Padilla, K. (2012). La indagación y la enseñanza de las ciencias. *Educación Química*, 23(4), 415-421.

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

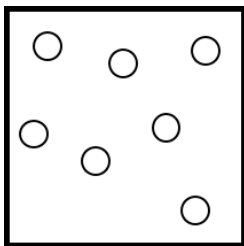
Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación: ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las ciencias*, 14(2), 286-299.

Russell, J., y Kozma, R. (2005) Assessing learning from the use of multimedia chemical visualization software. En J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education* (pp. 299-332) Dordrecht, The Netherlands: Springer.

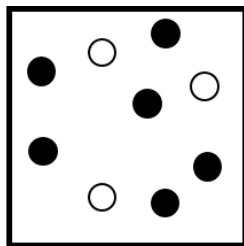
Taber, K. S. (2011). Models, Molecules and Misconceptions: A Commentary on "Secondary School Students' Misconceptions of Covalent Bonding" *Journal of Turkish Science Education*, 8(1), 3-18.

Anexo I: CUESTIONARIO 3º ESO

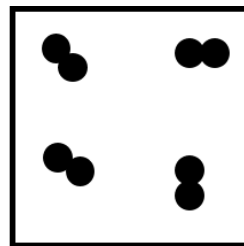
1. Razona en qué se convierte un átomo neutro cuando pierde electrones.
 - a) Las sustancias químicas están constituidas por:
 - b) Uniones de átomos iguales.
 - c) Uniones de átomos distintos.
 - d) Uniones de átomos iguales y/o distintos en una proporción determinada.
 - e) Uniones de átomos iguales y/o distintos en cualquier proporción.
 - f) Átomos iguales que no se unen.
2. Indica alguna propiedad que sirva para identificar las siguientes sustancias:
 - a) Agua.
 - b) Sal común.
 - c) Azúcar.
 - d) Hierro.
3. Los átomos al enlazarse dan lugar a moléculas, como el agua o el dióxido de carbono, y a redes cristalinas como la sal común. ¿En qué se diferencian?
4. Dibuja las partículas de las siguientes sustancias contenidas en:
 - a) Un vaso con agua.
 - b) Un vaso con sal.
 - c) Un vaso con agua y sal.
 - d) Un trozo de hierro.
5. Los dibujos siguientes representan gases. Cada bolita simboliza un átomo y las del mismo color son átomos idénticos. Justificando tu respuesta, indica qué dibujos pueden representar una sustancia pura.



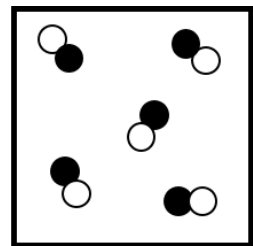
A



B



C



D

El siguiente esquema simboliza la reacción de formación de agua. Complétalo:

