

CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE LOS ALUMNOS DE EDUCACIÓN SECUNDARIA SOBRE EL ENLACE QUÍMICO

M. Esther González-Felipe
maríamesther2202gf@hotmail.com
IES CRISTÓBAL PÉREZ PASTOR, TOBARRA
(ALBACETE, ESPAÑA)

Constancio Aguirre-Pérez
constancio.aguirre@uclm.es
DEPARTAMENTO DE PEDAGOGÍA, FACULTAD DE EDUCACIÓN DE CUENCA
UNIVERSIDAD DE CASTILLA LA MANCHA, ESPAÑA

Raquel Fernández-César
raquel.fcezar@uclm.es
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS, FACULTAD DE EDUCACIÓN DE TOLEDO
UNIVERSIDAD DE CASTILLA LA MANCHA, ESPAÑA

Ana María Vázquez-Moliní
ana.vazquez@uclm.es
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA FÍSICA, FACULTAD DE EDUCACIÓN DE
ALBACETE, UNIVERSIDAD DE CASTILLA LA MANCHA, ESPAÑA

Recibido: 17 de octubre de 2017
Aceptado: 24 de diciembre de 2017

Resumen

En el presente trabajo se analizan las concepciones alternativas de los alumnos de 4º curso de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y 1º de Bachillerato sobre el enlace químico. Para ello se procedió a la administración de un cuestionario a 101 alumnos de ambos cursos. Los resultados muestran que, a pesar de que hay matices diferenciales entre ambos cursos, en los dos casos, los alumnos presentan dificultades para relacionar los niveles macro y micro de la química, y por tanto, para llegar a comprender y relacionar las propiedades macroscópicas de las sustancias con el tipo de unión que presentan las partículas (átomos, iones y moléculas) a nivel microscópico.

Palabras clave: Enseñanza/Aprendizaje de la Química, enlace químico, concepciones alternativas.

Abstract

In this paper, the alternative misconceptions about chemical bond of 4th Compulsory Secondary Education and 1st of Bachillerato students are analyzed. The experimental work involved the administration of 101 questionnaires to students of both courses. The results show that, although there are differential nuances between both courses, the most important conclusion is that students have in common the difficulty to relate macro and micro levels of chemistry and, therefore, to reach the comprehension to relate the macroscopic properties of substances with the type of bonding that these particles (atoms, ions and molecules) have at the microscopic level.

Keywords: Chemical Education, chemical bond, misconceptions.

1.- Introducción

El concepto de enlace químico es uno de los más estudiados en la literatura científica en la que se tratan los procesos de enseñanza/aprendizaje de la química, junto con los conceptos de sustancia, mezcla, elemento, compuesto, reacción química y equilibrio químico. Este concepto es considerado por muchos investigadores como uno de los más fundamentales en química (Solbes y Vilches, 1991; Pauling, 1992; Posada, 1999). Pero a la vez, es identificado en la bibliografía como un concepto con el que los estudiantes encuentran grandes dificultades. El enfoque más habitual al encarar cualquier tópico relacionado con la Enseñanza de las Ciencias consiste en tratar de averiguar los conocimientos que tienen los alumnos. Estos se denominan ideas previas (Ausubel, Novak y Hanesian, 1983), errores conceptuales (Taber, 2011), concepciones alternativas (Driver y Erickson, 1983), marcos conceptuales alternativos (Campanario y Otero, 2000) pseudoconceptos, o pseudoconcepciones (Vinner, 1997), según las distintas terminologías encontradas en la bibliografía. Este planteamiento inicial se incardina en toda investigación didáctica dentro del paradigma constructivista de enseñanza/aprendizaje de las Ciencias. De acuerdo con este paradigma el aprendizaje significativo se produce cuando se establecen relaciones con las ideas existentes, de ahí que las ideas de los estudiantes desempeñen un papel fundamental en cómo aprenden los alumnos. Considerando este aspecto, en este trabajo preferimos llamarlas concepciones alternativas, para resaltar la no coincidencia de las mismas con las ideas científicamente correctas, pero para evitar darles un sentido negativo.

Se han realizado numerosos trabajos sobre los principales conceptos químicos con la finalidad de averiguar cuáles son las concepciones alternativas de los alumnos (Özmen, Ayas y Costu, 2002). El enlace químico es uno de los conceptos estudiados (Özmen, 2004). Se considera este un concepto estructurante (Gagliardi y Giordan, 1986), imprescindible para desarrollar con éxito otras partes de la Química o incluso de la Biología. Es un concepto clave y fundamental pues permite responder a diversas cuestiones como la justificación de las propiedades físicas y químicas de las distintas sustancias y las clases de uniones que se rompen y se forman entre átomos en el transcurso de las reacciones químicas. Simultáneamente se puede considerar como uno de los conceptos más abstractos y complejos de la Química, cuyo estudio presenta grandes dificultades para los estudiantes, y sobre el que desarrollan una gran variedad de concepciones alternativas.

Hay que resaltar que muchas veces el problema del aprendizaje del concepto de enlace químico no reside solamente en las concepciones alternativas de los estudiantes. Puede también ser debido al hecho de que los alumnos aprenden la terminología empleada tanto de sus profesores como de los libros de texto, pero la emplean sin llegar a entender los conceptos que se encierran en esos términos. Vinner (1997) sugiere que cuando los alumnos utilizan los términos correctos en el contexto adecuado pero sin pensamiento conceptual ni comprensión científica, podría decirse que usan dicha terminología como pseudoconceptos. Por otro lado, Taber y Watts (2000) consideran que los estudiantes

tienden a la generalización y usan la memorización pura de dicha terminología de forma rutinaria en lugar de fundamentarla en las explicaciones científicas pertinentes.

Principales errores conceptuales detectados en la literatura científico-didáctica sobre el enlace químico

El conocimiento de las ideas previas de los estudiantes sobre el enlace químico es fundamental a la hora de planificar una enseñanza sobre el mismo, ya que nos permiten identificar aquellos conceptos más difíciles de entender e interpretar por los estudiantes. Las concepciones alternativas de los estudiantes respecto al enlace químico en los distintos niveles educativos han sido estudiadas por diversos autores (Peterson y Treagust, 1989; Furió y Calatayud, 1996; Oversby, 1996; Taber, 1997; Boo, 1998; Birk y Kurtz, 1999; Posada, 1999; Coll y Treagust, 2001; Riboldi, Pliego y Odetti, 2004; Luxford y Bretz, 2014). Özmen (2004) realizó una extensa revisión bibliográfica sobre las concepciones alternativas de los estudiantes de diferentes niveles educativos sobre el enlace químico.

En el anexo 1 se incluye una revisión bibliográfica actualizada con las principales concepciones alternativas detectadas en los estudiantes, relacionadas con la comprensión del enlace químico.

Consideramos que las concepciones alternativas de los estudiantes pueden tener su origen en una gran variedad de causas, entre las que se encuentran los libros de texto y el tipo de enseñanza recibida. Taber (2011) ha indicado algunas de las actuaciones frecuentes en las aulas que pueden dar lugar a estos errores, como presentar el enlace covalente-iónico de una forma dicotómica, o la sobre simplificación de los modelos científicos empleados.

La pregunta que nos planteamos es: ¿Se mantienen las ideas alternativas de los estudiantes sobre el enlace químico en los diferentes cursos de la Educación Secundaria? ¿Cambian estas ideas alternativas cuando los alumnos reciben la enseñanza en el curso superior? Nuestra hipótesis de partida es que las concepciones alternativas sobre el enlace químico son muy difíciles de modificar y, por tanto, persisten en los distintos cursos a pesar de la enseñanza recibida. Para verificar o refutar nuestra hipótesis, en el presente trabajo se analizaron las concepciones alternativas sobre el enlace químico de estudiantes de dos cursos consecutivos: 4º de ESO y 1º de Bachillerato.

2.- Metodología

Para conocer las concepciones de los alumnos se utilizó un cuestionario con 38 items de opción múltiple con una correcta, que se administró a los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato (Anexo 2).

El cuestionario fue confeccionado tras analizar los contenidos y los ejercicios de los libros de texto más frecuentemente utilizados en la Educación Secundaria en España. Las preguntas del cuestionario se organizaron en torno a seis bloques atendiendo a las concepciones alternativas principalmente recogidas en la bibliografía, siendo intercaladas

las preguntas de los bloques en el cuestionario final. En la Tabla 1 se muestran los bloques, los contenidos con los que se relacionan, y las preguntas del test correspondientes a cada bloque.

Bloque	Contenidos	Preguntas del test
Bloque I	Presentación de las sustancias como átomos aislados, moléculas y cristales	1; 12; 13; 37; 38
Bloque II	Propiedades de las sustancias y su estructura en estado sólido	4; 5; 9; 10; 21; 22
Bloque III	Identificación de las partículas que constituyen los sólidos	2; 11; 18; 19; 23; 32; 33; 34
Bloque IV	La razón por la que ocurren los enlaces químicos	3; 6; 35
Bloque V	Identificación de los distintos tipos de enlace químico	7; 14; 15; 16; 17; 20; 24; 25
Bloque VI	Formación de los distintos tipos de enlace	8; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 36

Tabla 1. Bloques de contenidos y preguntas correspondientes a cada bloque

El cuestionario se pasó a un total de 101 alumnos de dos Institutos de Enseñanza Secundaria (IES) de Albacete (53 de 4º ESO y 48 de 1º Bachillerato) antes de realizar el estudio del tema del enlace químico durante el curso académico 2011/2012. Las respuestas se obtuvieron de forma anónima y fueron posteriormente analizadas. Se cuantificaron tanto las respuestas correctas como las incorrectas, con el objeto de deducir a partir de estas últimas las concepciones alternativas de los estudiantes. Los casos en los que los estudiantes daban una respuesta incorrecta se analizaron en base a la frecuencia con la que dichas opciones eran señaladas y se estimó su porcentaje. De entre las opciones incorrectas señaladas, aquella mayoritariamente indicada se consideró la concepción alternativa más relevante para ese bloque.

3.- Resultados y discusión

En la Tabla 2 se muestran los porcentajes de respuestas incorrectas emitidos en los dos niveles educativos para cada bloque.

Bloque	% respuestas incorrectas en 4º ESO	% respuestas incorrectas en 1º Bachillerato
Bloque I	63	52
Bloque II	61	53
Bloque III	70	75
Bloque IV	79	66
Bloque V	63	47
Bloque VI	70	65

Tabla 2. Porcentaje de respuestas incorrectas para 4º ESO y 1º Bachillerato para cada bloque

En las respuestas obtenidas en 4º ESO, se observa que en todos los bloques el porcentaje de respuestas incorrectas supera el 60%, siendo el bloque II, Propiedades de las sustancias y su estructura en estado sólido, el bloque con menor número de respuestas incorrectas (61%) y el bloque IV, La razón por la que ocurren los enlaces químicos, el que mayor número de respuestas incorrectas presenta (79 %). La mayoría de los estudiantes recuerda mejor aquello que ve, el mundo macroscópico, recogido en el bloque II. Sin embargo, les cuesta establecer una relación entre la constitución microscópica de los distintos tipos de sólidos y las propiedades macroscópicas que presentan dichos sólidos. Por otro lado, identifican la causa de la formación del enlace (bloque IV) con la tendencia que tienen los átomos a adquirir la configuración electrónica de gas noble y no lo relacionan con que se alcance un estado de mínima energía, lo que indica claramente que los alumnos no entienden por qué se forman los enlaces químicos y simplemente aplican la regla del octeto para justificar la formación de los mismos. Así mismo se observa que los estudiantes presentan dificultades para distinguir entre los diferentes tipos de enlaces, lo que está de acuerdo con lo señalado por Boo (1998).

En el caso de 1º de Bachillerato los porcentajes de respuestas incorrectas son altos pues se sitúan por encima del 47 %, aunque en general se detectan variaciones a la baja respecto al curso precedente. La tendencia general es que el % de respuestas incorrectas disminuye en 1º Bachillerato en todos los bloques, excepto en el bloque III, Identificación de las partículas que constituyen los sólidos, en el que hay un incremento de respuestas incorrectas de un 5 %. Parece lógico pensar que en 1º Bachillerato haya un porcentaje menor de respuestas incorrectas, ya que los alumnos estudiaron el tema del enlace químico en 4º de ESO, lo que puede haber contribuido a descartar algunas de sus concepciones alternativas y reemplazarlas por verdaderas ideas científicas. Pero llama especialmente la atención que no ocurra esto con el bloque III. Pensamos que puede deberse a que este aspecto microscópico no es tratado de manera adecuada en los libros de texto, y tampoco ayudan a su comprensión las explicaciones extremadamente reduccionistas que se emplean en la instrucción sobre este punto, como apunta Taber (2011).

Respecto a las concepciones alternativas, se determinan con la respuesta incorrecta que ha elegido un mayor número de alumnos en cada bloque, como se indica en la sección anterior. Se muestran en la tabla 3, junto con el resto de opciones incorrectas más frecuentes para cada uno de los cursos analizados.

4º de ESO	Bloque	Concepciones alternativas más relevantes	Otras opciones incorrectas
	Bloque I	Los gases nobles forman moléculas (12a; 38%)	1c (38%); 38a (33%); 37b (17%); 13c (13%);
	Bloque II	El hierro no conduce la electricidad por carecer de iones (22a; 27%)	5c (26%); 4c (25%); 9d (23%); 10d (21%); 21c (19%);

CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE LOS ALUMNOS DE EDUCACIÓN SECUNDARIA SOBRE EL ENLACE QUÍMICO

M. Esther González-Felipe, Constancio Aguirre-Pérez, Raquel Fernández-Cézar y Ana María Vázquez-Moliní

Revista de Didácticas Específicas, nº18, PP. 26-44

	Bloque III	No se asocia los cristales iónicos con la existencia de iones de cargas opuestas (33a; 44%)	11b (44%); 23c (36%); 19a (35%); 18b (33%); 2d (23%); 32d (23%); 34a (19%)
	Bloque IV	Los átomos se unen por su tendencia a compartir electrones (3c; 54%)	6d (27%); 35c (25%)
	Bloque V	En el O ₂ se da un enlace iónico (7d; 36%)	24a (33%); 14d (29%); 16a (29%); 17a (21%); 25b (19%); 15b (19%); 20b (13%);
	Bloque VI	Se confunde la compartición con la transferencia de electrones (8c; 33%)	26a (31%); 31a (29%); 27d (25%); 28b (25%); 29c (25%); 30c (23%); 36b (11%)
1º Bachillerato	Bloque I	Los gases nobles se encuentran en la naturaleza formando moléculas (12a; 27%)	1d (27%); 38b (12%); 13b (10%); 37b (10%);
	Bloque II	El metano se disuelve bien en agua (9d; 33%)	4b (31%); 10b (31%); 5d (29%); 21a (25%)
	Bloque III	Las partículas que forman los cristales metálicos son aniones y cationes (32c; 35%)	23c (31%); 11b (29%); 33a (27%); 2d (25%); 18d (23%); 19a (23%); 34a (14%)
	Bloque IV	La formación de enlaces se debe a la tendencia de los átomos a ceder o ganar electrones (3a; 54%)	35a (19%); 6d (14%);
	Bloque V	El enlace iónico se puede formar entre átomos de dos metales (7b; 52%)	7b (52%); 14c (33%); 16a (25%); 15d (23%); 24a (21%); 25b (12%); 20a (6%);
	Bloque VI	El Ca para unirse al Cl para formar el cloruro de calcio pierde un electrón (26a; 31%)	8c (21%); 28b (21%); 30 a (21%); 31b (17%); 29b (14%); 27d (14%); 36c (10%)

Tabla 3. Concepciones alternativas más relevantes de los alumnos y respuestas incorrectas mayoritarias a las preguntas de cada bloque con el porcentaje de alumnos que las eligen

Se puede decir que la mayoría de los alumnos no sabe identificar las distintas formas en que se pueden presentar las sustancias (átomos libres, moléculas o estructuras gigantes), confunden los distintos tipos de sólidos cristalinos y asocian las sustancias moleculares a estructuras gigantes (o viceversa) y los gases a moléculas, puesto que casi todos los gases que conocen están formados por moléculas (generalmente moléculas diatómicas) y no consideran posible la existencia de los gases nobles que se presentan en forma de átomos aislados. Además, no son capaces de relacionar las propiedades macroscópicas de las sustancias con su constitución microscópica, lo que coincide con lo señalado por Posada (1993) que indicó que los estudiantes de 15-17 años no sabían explicar las causas de las diferencias en los puntos de fusión de las sustancias y justificaban dichas diferencias por razones macroscópicas. Se observa en este trabajo, que los alumnos no identifican las partículas que constituyen los sólidos metálicos y, por

tanto, no saben relacionar las propiedades macroscópicas con la constitución microscópica, error que ha sido ya señalado por otros autores (Posada, 1993).

Un alto número de los estudiantes de nuestra muestra no identifica correctamente el tipo de partículas en los distintos tipos de sólidos. El error detectado más frecuentemente es que *no identifican iones de carga opuesta en los sólidos iónicos*, que coincide con lo señalado en la bibliografía por Taber, que afirma que «...*los estudiantes creen que el enlace iónico se forma exclusivamente entre los átomos que donan/aceptan electrones*» (Taber, 1994). Pensamos que puede ser debido a que en la enseñanza del enlace iónico habitualmente no se hace suficiente hincapié en que este se produce por la atracción eléctrica entre iones de signo contrario y no por la cesión/aceptación de electrones. Continuando con el aspecto microscópico, los estudiantes no identifican la razón verdadera por la que se forman los enlaces químicos. La respuesta c de la pregunta 3 del test que se encuentra mayoritariamente, nos indica que los alumnos identifican como causa de la formación del enlace la tendencia que tienen los átomos a compartir electrones o que los átomos se unen para tener 8 electrones en su capa de valencia (respuesta c de la pregunta 35 señalada por el 25 % de los estudiantes). Estas afirmaciones están de acuerdo con lo indicado por otros autores (Özmen, 2004; Taber, 2011) que señalan la creencia de los estudiantes de que los enlaces químicos *se forman para rellenar niveles electrónicos siguiendo la regla del octeto*. Solamente un 4 %, 36 % y 23% señaló las respuestas correctas en las preguntas 3, 6, y 35 respectivamente, asociando la formación del enlace a la tendencia a adquirir un estado de mínima energía.

Los alumnos presentan dificultades para identificar los distintos tipos de enlace. Así, por ejemplo, un 19 % de los alumnos cree que en el CaBr_2 se da un enlace metálico. Este error puede ser debido a que los alumnos atribuyen a los compuestos las propiedades de sus elementos constituyentes (Tabla 3) e identifican el carácter metálico del Ca con el del CaBr_2 , asociando a este último un enlace metálico.

Taber (2011) señala que los estudiantes tienden a pensar que los átomos *actúan para rellenar su configuración electrónica*, mediante dos posibles mecanismos la compartición o la cesión/aceptación de electrones quedando fuera de esta explicación la formación de enlaces que no sean covalente o iónicos. Esta visión no deja de ser una visión antropomórfica, que lleva a que los estudiantes entiendan el enlace químico como «compartición» no como una «interacción eléctrica». Esta visión dificultará el estudio posterior de, por ejemplo, los enlaces polares, y les impide identificar el enlace metálico. Aún con esta concepción dicotómica de tipologías de enlace, se aprecia que los alumnos confunden los procesos de compartición y de transferencia de electrones: por ejemplo, un 33% de los estudiantes piensa que en el NaF se da una compartición de un par de electrones procedentes uno del átomo de Na y otro del átomo de F. En las preguntas 26 a 31 de este bloque se aprecia que los alumnos tienen dificultades para saber cuál es la carga de los iones en la estructura del NaCl y por qué se produce la atracción entre iones de signo contrario (pregunta 36 en la que el 11 % señala que la atracción se produce entre iones de igual signo), pues no identifican enlace con fuerza entre iones.

Por lo tanto, podemos hablar de persistencia de concepciones alternativas, como señalan otros autores (Taber, 2011; Campanario y Otero, 2000) al comparar las concepciones alternativas de los alumnos en sendos cursos (ver tabla 3). Se observa que muchas de las ideas alternativas detectadas en los estudiantes de 4º ESO persisten en los de 1º de Bachillerato, o sufren solamente ligeras variaciones. Por ejemplo, en 1º Bachillerato muchos alumnos siguen pensando que *los gases nobles se presentan en forma de moléculas* y que *el hierro no conduce la electricidad por carecer de iones*. Se mantiene su idea de que *los enlaces se forman por compartición, cesión o ganancia de electrones*, y no identifican cuándo se dan cada uno de esos casos. También continúan asignando a los compuestos propiedades de sus constituyentes cuando eligen que *en el bromuro de calcio se da un enlace metálico* o que *en el agua se da un enlace iónico*. Esto confirma lo indicado por Campanario y Otero (2000) sobre la persistencia de las ideas previas de los alumnos. De acuerdo con estos autores las ideas previas de los alumnos son muy difíciles de modificar y esta modificación requiere de estrategias didácticas diferentes a la enseñanza por transmisión, afirmación con la que estamos de acuerdo.

BIBLIOGRAFÍA

- AUSUBEL, D.P., NOVAK, J.D. & HANESIAN, H. (1983). *Psicología educativa: Un punto de vista cognitivo*. Mexico: Trillas.
- BARKER, V. (2000). Students' reasoning about basic chemical thermodynamics and chemical bonding: what changes occur during a context-based post-16 chemistry course. *International Journal of Science Education*, 22(11), 1171-1200.
- BIRK, J. & KURTZ, M. (1999). Effect of experience on retention and elimination of misconceptions about molecular structure and bonding. *Journal of Chemical Education*, 76 (1), pp. 124-128.
- BOO, H.K. (1998). Students' Understandings of Chemical Bonds and the energetics of Chemical Reactions. *Journal of Research in Science Teaching* 35(5), 569-681.
- CAMPANARIO, J.M. & OTERO, J.C. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* 18 (2), 155-169.
- COLL, R. K. & TAYLOR, N. (2001). Alternative conceptions of chemical bonding held by upper secondary and tertiary students. *Research in Science & Technological Education*, 19(2), 171-191.

- COLL, R. K. & TREAGUST, D. F. (2001). Learners' Use of Analogy and Alternative Conceptions for Chemical Bonding. *Australian Science Teachers Journal* 48 (1), 24–32.
- DRIVER, R. & ERICKSON, G. (1983). Theories in action: some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in Science. *Studies in Science Education* 10, 37-60.
- FURIÓ, C. y CALATAYUD, M.L. (1996). Difficulties with the geometry and polarity of molecules: beyond misconceptions. *Journal of Chemical Education* 73, 37-41.
- GAGLIARDI, R. y GIORDAN, A. (1986). La historia de las Ciencias: Una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias* 4 (3), 253-258.
- LEVY NAHUM, T., HOFSTEIN, A., MAMLOK-NAAMAN, R. & BAR-DOV, Z. (2004). Can final examinations amplify students's misconceptions in chemistry. *Chemistry Education: Research and Practice*, 5(3), 301-325.
- LUXFORD, C. J. & BRETZ, S. L. (2014). Development of the bonding representations inventory to identify student misconceptions about covalent and ionic bonding representations. *Journal of Chemical Education*, 91(3), 312-320.
- OVERSBY, J.P. (1996). Recruitment of science teachers – the gate keeping function of initial teacher education. *Science Education International*, March, 8-11.
- ÖZMEN, H., AYAS, A., & COSTU, B. (2002). Determination of the science student teachers' understanding level and misunderstandings about the particulate nature of matter. *Educational Sciences: Theory & Practice* 2 (2), 507–529.
- ÖZMEN, H (2004). Some Student misconceptions in Chemistry: a literature review of chemical bonding. *Journal of Science Education and Technology* 13 (2), 147-159.
- PAULING, L. (1992). The nature of the Chemical Bond. *Journal of Chemical Education* 69(6), 519-521.
- PETERSON, R.F. & TREAGUST, D.F. (1989). Grade-12 Students' misconceptions of covalent bonding and structure. *Journal of Chemical Education* 66(6), 459-460.
- POSADA, J.M. de (1993). Concepciones de los alumnos de 15-18 años sobre la estructura interna de la materia en el estado sólido. *Enseñanza de las Ciencias* 11(1), 12-19.
- 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), 227-245.
- RIBOLDI, L., PLIEGO, O. y ODETTI, H. (2004). El enlace químico: una conceptualización poco comprendida. *Enseñanza de las Ciencias* 22 (2), 195-212.
- ROBINSON, W. R. (1998). An alternative framework for chemical bonding. *Journal for Chemical Education*, 75(9), 1074-1075.

SOLBES, J. y VILCHES, A. (1991). Análisis de la introducción de la teoría de enlaces y banda. *Enseñanza de las Ciencias* 9(1), 53-58.

TABER, K. S (1994). Misunderstanding the ionic bond. *Education in Chemistry-London* 31(4), 100-110.

TABER, K. S. (1997). Student understanding of ionic bonding: molecular versus electrostatic framework?. *School Science Review*, 78(285), 85-95

TABER, K. S. (2011). Models, Molecules and Misconceptions: A Commentary on Secondary School Students' Misconceptions of Covalent Bondin. *Journal of Turkish Science Education* 8 (1), 4-18.

TABER, K. S & WATTS, M. (2000). Learners' explanations for chemical phenomena. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe* 1 (3), 329-353.

ÜNAL, S., COSTU, B. & AYAS, A. (2010). Secondary school students' misconceptions of covalent bonding. *Journal of Turkish Science Education* 7(2), 3-29.

VINNER, S. (1997). The pseudo-conceptual and the pseudo-analytical thought processes in mathematics learning. *Educational Studies in Mathematics* 34, 97-129.

Anexo I. Concepciones alternativas de los estudiantes respecto a conceptos relacionados con el enlace químico (a.i) y referencias en las que aparecen

a.1. Concepción alternativa sobre la causa de la formación de los enlaces	
Los enlaces se forman por la tendencia que tienen los átomos a rellenar su configuración electrónica	Posada (1999)
Los átomos se unen porque tienen un campo de atracción sobre otros átomos	
Los átomos “necesitan” llenar niveles electrónicos (visión antropomórfica)	Robinson (1998)
Para que átomos de un mismo o diferentes elementos se unan por enlace químico es imprescindible suministrar energía	Riboldi et al. (2004)
El enlace químico es una entidad física	Boo (1998)
a.2. Concepciones alternativas sobre propiedades de las sustancias y su estructura	
El hecho de que dos átomos del mismo o de distintos elementos se unen formando una molécula es un proceso de cambio de estado	Riboldi et al. (2004)
Se atribuyen a los compuestos las propiedades de sus elementos constituyentes	Levy et al. (2004)
La alta viscosidad de algunos sólidos moleculares es debida a fuertes enlaces en una red covalente continua	Peterson et al. (1989)
La presión influye en la forma y el empaquetamiento de los compuestos iónicos	Coll et al. (2001)
Los enlaces covalentes se rompen cuando una sustancia cambia de forma	Peterson et al. (1989)
La diferencia en los puntos de fusión de las sustancias se deben a otras propiedades macroscópicas como la densidad o el calor específico	Posada (1993)
a.3. Concepciones alternativas sobre el enlace covalente	
El enlace covalente intramolecular es de naturaleza débil	Coll y Taylor (2001)
Todos los enlaces covalentes comparten equitativamente los pares electrónicos	Peterson et al. (1989)
La polaridad de un enlace depende del número de electrones de valencia que en cada átomo están involucrados en el enlace	
La carga iónica determina la polaridad del enlace	

CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE LOS ALUMNOS DE EDUCACIÓN SECUNDARIA SOBRE EL ENLACE QUÍMICO

M. Esther González-Felipe, Constancio Aguirre-Pérez, Raquel Fernández-César y Ana María Vázquez-Moliní
Revista de Didácticas Específicas, nº18, PP. 26-44

Los pares de electrones no enlazantes (solitarios) influyen en la posición de par compartido y determinan la polaridad del enlace	Birk y Kurtz (1999)
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------

La forma de una molécula viene determinada por repulsiones equivalentes entre enlaces (pares enlazantes)

La forma de una molécula viene determinada por repulsiones equivalentes entre pares no enlazantes (pares solitarios)

La polaridad del enlace determina la forma de una molécula	Peterson et al. (1989)
------------------------------------------------------------	------------------------

Las moléculas no polares sólo se forman cuando los átomos constituyentes tienen electronegatividad similar	Birk y Kurtz (1999)
------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------

Las moléculas tipo OF_2 son polares porque los pares no enlazantes (solitarios) del oxígeno adquieren un carga negativa parcial	Peterson et al. (1989)
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------

a.4. Concepciones alternativas sobre el enlace iónico

El enlace iónico es la atracción entre un ion con carga positiva y uno con carga negativa	Taber (1997)
-------------------------------------------------------------------------------------------	--------------

Los compuestos iónicos existen como moléculas discretas	Barker (2000)
---------------------------------------------------------	---------------

El enlace iónico es un enlace débil	Coll y Taylor (2001)
-------------------------------------	----------------------

Hay sólo dos tipos de enlaces: covalente e iónico. Los demás son sólo fuerzas «no enlaces propiamente dichos»	Robinson (1998)
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------

Los enlaces iónicos son consecuencia de una transferencia de electrones, en vez de resultar de la atracción entre iones resultantes de una transferencia electrónica

En enlace iónico tiene lugar únicamente entre los átomos involucrados en una transferencia electrónica. La razón para dicha transferencia es conseguir un nivel electrónico completamente lleno.

Los iones sodio (Na^+) son estables porque han rellenado completamente la capa electrónica externa

El enlace iónico es más fuerte que el enlace covalente	Riboldi et al. (2004)
--------------------------------------------------------	-----------------------

Los enlaces iónicos se forman por compartición de electrones	Boo (1998)
--------------------------------------------------------------	------------

Existen moléculas de sustancias iónicas	Riboldi et al. (2004)
-----------------------------------------	-----------------------

En enlace iónico tiene lugar únicamente entre los átomos involucrados en una transferencia electrónica. Así, el ión sodio forma un enlace iónico con un ión cloruro en el cloruro de sodio sólido y se ve involucrado a través de «fuerzas» con otros 5 iones cloruro contiguos	Robinson (1998)
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------

CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE LOS ALUMNOS DE EDUCACIÓN SECUNDARIA SOBRE EL ENLACE QUÍMICO

M. Esther González-Felipe, Constancio Aguirre-Pérez, Raquel Fernández-César y Ana María Vázquez-Moliní
Revista de Didácticas Específicas, nº18, PP. 26-44

Las redes iónicas son de naturaleza molecular

Taber (2011)

a.5. Concepciones alternativas sobre el enlace metálico

El enlace metálico es un enlace débil

Coll y Taylor (2001)

Las redes metálicas contienen átomos neutros

Las redes metálicas son de naturaleza molecular

El yodo molecular es de naturaleza metálica

El enlace metálico contiene una característica de direccionalidad

El enlace metal-no metal en las aleaciones es de naturaleza electrostática

Los sólidos metálicos tienen átomos neutros

a.6. Concepciones alternativas sobre fuerzas intermoleculares

La intensidad de la fuerza del enlace covalente en una molécula determina las fuerzas intermoleculares entre ellas.

Peterson et al. (1989)

Existen fuertes fuerzas intermoleculares en un sólido covalente continuo

La gravedad influye en las fuerzas intermoleculares

Coll y Taylor (2001)

Los estudiantes confunden fuerzas intermoleculares con fuerzas intramoleculares

Levy et al. (2004)

Existen fuerzas intermoleculares en los sólidos iónicos y los sólidos metálicos

Coll y Taylor (2001)

Los enlaces por puente de H son considerados como enlace covalentes/covalente polar

Ünal et al. (2010)

Anexo 2. Cuestionario empleado

1. Respecto al cloruro de sodio (NaCl) señala la opción verdadera:

- a) Es una molécula formada por iones.
- b) Es un cristal iónico formado por iones.
- c) Es un cristal covalente formado por iones.
- d) Es un cristal formado por moléculas de cloruro de sodio.

2. Respecto al cloruro de sodio (NaCl) señala la opción verdadera:

- a) Forma una red cristalina de cationes.
- b) Forma una red cristalina de iones.
- c) Forma una red cristalina de átomos.
- d) Forma una red cristalina de moléculas.

3. Los átomos se unen porque:

- a) Tienden a perder o ganar electrones.
- b) Tienden a ganar electrones.
- c) Tienden a compartir electrones.
- d) Tienden a adquirir un estado de mínima energía.

4. Dadas las siguientes sustancias: KI, AlI₃, I₂ y K, señala la opción correcta:

- a) La que conduce la electricidad en estado sólido es el KI.
- b) La de punto de fusión más alto es el AlI₃.
- c) La más dura es el potasio.
- d) El I₂ es una sustancia que sublima a temperatura ambiente.

5. Señala la opción que no sea correcta referente a un compuesto formado por dos elementos A y B cuyos números atómicos son 11 y 9 respectivamente:

- a) Será un compuesto iónico.
- b) Tendrá bajo punto de fusión.
- c) Tendrá elevado punto de ebullición.
- d) Será buen conductor de la electricidad en estado fundido.

6. Para que se establezca un enlace entre dos átomos es necesario que:

- a) Los átomos sean iguales.
- b) Los átomos sean diferentes.
- c) Formen un sistema más estable que los átomos por separado.
- d) Se produzca una transferencia de protones.

7. Cuáles de los siguientes pares de elementos pueden formar enlace iónico:

- a) S y O
- b) Na y Ca
- c) Na y F
- d) O y O

8. El fluor $Z = 19$ y el sodio $Z = 11$ se unen dando un compuesto que se forma:

- a) Por transferencia de un electrón de cada átomo de sodio a cada átomo de flúor.
- b) Por transferencia de dos electrones de cada átomo de sodio a cada átomo de flúor.
- c) Por compartición de un par de electrones procedentes uno del átomo de sodio y otro del átomo de flúor.
- d) Por compartición de dos electrones procedentes ambos del átomo de sodio.

CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE LOS ALUMNOS DE EDUCACIÓN SECUNDARIA SOBRE EL ENLACE QUÍMICO

M. Esther González-Felipe, Constancio Aguirre-Pérez, Raquel Fernández-César y Ana María Vázquez-Moliní
Revista de Didácticas Específicas, nº18, PP. 26-44

9. Teniendo en cuenta el tipo de enlace existente en el metano, señala sus propiedades (a temperatura ambiente) de las siguientes:

- | | |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| a) Sólido soluble en agua y no conductor de la electricidad. | c) Gas, insoluble en agua y no conductor de la electricidad. |
| b) Líquido, insoluble en agua y no conductor de la electricidad. | d) Gas, soluble en agua y no conductor de la electricidad. |

10. De las siguientes propiedades, referidas a los sólidos covalentes, indica la opción correcta:

- | | |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| a) Presentan puntos de fusión y ebullición muy altos. | c) Son muy blandos. |
| b) Son frágiles, generalmente. | d) Son conductores de la electricidad. |

11. Indica cuál de las siguientes afirmaciones es la correcta:

- | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| a) El retículo cristalino de los metales está formado solo por iones positivos. | c) En algunos metales, el retículo cristalino está formado solo por iones negativos. |
| b) El retículo cristalino de los metales está formado por iones positivos y negativos. | d) El retículo cristalino de los metales está formado por iones positivos y átomos neutros. |

12. Los gases nobles se encuentran en la naturaleza:

- | | |
|--------------------------|---------------------------------|
| a) Formando moléculas. | c) Formando cristales iónicos. |
| b) Como átomos aislados. | d) Formando cristales atómicos. |

13. El dióxido de carbono se encuentra en la naturaleza:

- | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| a) Formando moléculas. | c) Formando cristales iónicos |
| b) Formando cristales atómicos. | d) Formando cristales covalentes. |

14. Indica de entre las siguientes sustancias la que sea un cristal atómico covalente:

- | | |
|------------|---------------------|
| a) Hierro | c) Cuarzo |
| b) Grafito | d) Cloruro de sodio |

15. Las partículas que intervienen en el enlace son:

- | | |
|---------------|--------------|
| a) Iones | c) Átomos |
| b) Electrones | d) Moléculas |

16. Indica cuál de las siguientes sustancias está formada por un metal y un no metal:

- | | |
|------------|---------------------|
| a) Metano | c) Cloruro de sodio |
| b) Oxígeno | d) Agua |

17. Indica cuál de las siguientes sustancias presenta enlace iónico:

- | | |
|-----------|---------------------|
| a) Metano | c) Oxígeno |
| b) Agua | d) Cloruro de sodio |

18. Indica cuál de las siguientes sustancias presenta una red cristalina de cationes:

- | | |
|-----------------------|-------------|
| a) Dióxido de carbono | c) Cobre |
| b) Amoniaco | d) Diamante |

19. Indica cuál de las siguientes sustancias presenta una red cristalina de átomos:

- | | |
|-----------------------|-------------|
| a) Dióxido de carbono | c) Diamante |
| b) Amoniaco | d) Cobre |

20. Indica cuál de las siguientes sustancias presenta enlace metálico:

- | | |
|-------------|-----------------------|
| a) Amoniaco | c) Cobre |
| b) Diamante | d) Dióxido de carbono |

21. El compuesto cloruro de sodio presenta la siguiente propiedad según su tipo de enlace:

- | | |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| a) No conduce la electricidad, ya que no tiene iones. | c) Las partículas que constituyen el cristal son átomos. |
| b) Conduce la electricidad sólo en disolución o fundido. | d) Buen conductor en estado sólido |

22. El hierro presenta la siguiente propiedad según el tipo de enlace:

- | | |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| a) No conduce la electricidad ya que no tiene iones. | c) No conduce la electricidad porque no dispone de cargas eléctricas libres. |
| b) Conduce la electricidad sólo en disolución o fundido. | d) Buen conductor en estado sólido. |

23. Señala que sustancia presenta cationes como partículas en el cristal:

- | | |
|-----------|----------------------|
| a) Sodio. | c) Diamante. |
| b) Agua. | d) Cloruro de sodio. |

24. De las siguientes sustancias indica la que presenta un enlace iónico entre sus átomos:

- | | |
|----------------------|-------------------|
| a) H ₂ O | c) O ₂ |
| b) CaBr ₂ | d) Fe |

25. De las siguientes sustancias indica la que presenta un enlace metálico:

- | | |
|----------------------|-------------------|
| a) H ₂ O | c) O ₂ |
| b) CaBr ₂ | d) Fe |

26. El calcio para unirse al cloro y formar el cloruro de calcio:

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| a) Pierde un electrón | c) Pierde dos electrones |
| b) Gana dos electrones | d) Gana un electrón |

27. El sodio para unirse al cloro y formar el cloruro de sodio:

- a) Pierde un electrón.
- b) Gana dos electrones.
- c) Pierde dos electrones
- d) Gana un electrón

28. El cloro para unirse al calcio y formar el cloruro de calcio:

- a) Pierde un electrón
- b) Gana dos electrones
- c) Pierde dos electrones
- d) Gana un electrón.

29. La carga del átomo de sodio en el cloruro de sodio es:

- a) 1+
- b) 2+
- c) 1-
- d) No tiene carga

30. La carga del átomo de calcio en el cloruro de calcio es:

- a) 1+
- b) 2+
- c) 1-
- d) No tiene carga

31. La carga del átomo de cloro en el cloruro de sodio es:

- a) 1+
- b) 2+
- c) 1-
- d) No tiene carga

32. Las partículas que forman los cristales metálicos son:

- a) Aniones
- b) Cationes
- c) Aniones y cationes
- d) Electrones

33. Las partículas que forman los cristales iónicos son:

- a) Aniones
- b) Cationes
- c) Aniones y cationes
- d) Átomos

34. Las partículas que forman la red cristalina del cloruro de sodio son:

- a) Aniones
- b) Cationes
- c) Aniones y cationes
- d) Átomos

35. Señala la opción incorrecta:

- a) Los átomos se unen para conseguir la configuración de gas noble.
- b) Los átomos se unen para formar agrupaciones de mayor energía.
- c) Los átomos se unen para tener ocho electrones en la capa de valencia.
- d) Los átomos se unen para formar agrupaciones de mayor estabilidad.

36. El enlace iónico se produce entre:

- a) Dos iones con distinto signo.
- b) Dos iones con igual signo.
- c) Dos cationes.
- d) Dos aniones.

CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE LOS ALUMNOS DE EDUCACIÓN SECUNDARIA SOBRE
EL ENLACE QUÍMICO

M. Esther González-Felipe, Constancio Aguirre-Pérez, Raquel Fernández-César

y Ana María Vázquez-Moliní

Revista de Didácticas Específicas, nº18, PP. 26-44

37. Elige de entre las siguientes sustancias la que sea un cristal covalente:

- | | |
|--------------|----------------------------------------|
| a) Diamante. | c) Cloruro de sodio |
| b) Hierro. | d) H ₂ O en estado gaseoso. |

38. Elige de entre las siguientes sustancias la que sea una red cristalina de iones:

- | | |
|-----------|------------------------|
| a) Cuarzo | c) Cloruro de sodio |
| b) Sodio | d) Dióxido de carbono. |