

Evolución en el alumnado de la idea de elemento químico a lo largo del bachillerato

Antonio Joaquín Franco Mariscal¹ y José María Oliva Martínez²

¹ I.E.S. Juan Ramón Jiménez, Málaga. antoniojoaquin.franco@uca.es. ² Departamento de Didáctica. Universidad de Cádiz. josemaria.oliva@uca.es

[Recibido en enero de 2013, aceptado en abril de 2013]

Este trabajo analiza la evolución en el alumnado de la idea de elemento químico a lo largo del bachillerato. Concretamente, se perfila su comprensión en torno a la diferenciación entre elemento y compuesto, a la identificación de elementos metálicos y no metálicos, la identidad nuclear de los elementos, al cálculo de las partículas constituyentes, la identificación de ejemplos de elementos en nuestro entorno inmediato, y a la identificación de propiedades que diferencian a los elementos químicos, así como a la justificación de la existencia de regularidades en propiedades de los elementos. Los resultados muestran que los estudiantes que acaban la Educación Secundaria Obligatoria (16 años) presentan serias deficiencias en la comprensión de la idea de elemento químico, y que tales déficits se mantienen, en gran parte, al finalizar 2º de Bachillerato (18 años). Tales resultados sugieren dificultades y obstáculos en la asimilación de estos tópicos y muestran un escaso eco de los estudios cursados en el aprendizaje de los alumnos. Se argumenta que una parte importante de las dificultades detectadas se deben a la manera habitual bajo la que se enseñan estos temas, junto a la propia estructura del currículo oficial.

Palabras clave: elemento químico; comprensión de los alumnos; dificultades de aprendizaje; educación química; evolución del conocimiento.

Development of the idea of chemical element in high school students

The development of the idea of chemical element in Spanish high school students is analyzed in this paper. Specifically, we shape their understanding around the difference between a chemical element and a compound, the identification of metallic and non-metallic elements, the nuclear identity of the elements, the calculation of the constituent particles, the identification of elements in our surroundings, the identification of properties differentiating the chemical elements, and the justification of the existence of regularities in the properties of the elements. The results show that students who finish the compulsory secondary education (16 years old) have serious deficiencies in the comprehension of the idea of chemical element. Such deficits remain, largely, at the end of high school (18 years old). These data suggest some difficulties and obstacles in the understanding of these topics showing a little impact of the studies in the learning. An important part of these difficulties are due to the usual manner under which these issues are taught, along with the structure of the Spanish curriculum.

Keywords: chemical element; chemistry education; development of knowledge; learning difficulties; student understanding.

Introducción

El presente artículo se inserta dentro del marco más amplio de un trabajo de Tesis Doctoral sobre el uso de juegos educativos en la enseñanza del tema de los elementos químicos y su clasificación periódica (Franco-Mariscal, 2011). Como paso previo, era preciso delimitar la comprensión de los alumnos en este ámbito en clases habituales, para posteriormente situar la repercusión de esos recursos en el aprendizaje de los estudiantes y en su interés por estos temas y el desarrollo de actitudes positivas hacia las ciencias y su aprendizaje. Por clases habituales entendemos aquellas basadas en la transmisión-recepción de conocimientos ya elaborados, alejadas de los ámbitos de aprendizaje de las ciencias centrados en contextos, y ausentes de recursos innovadores que den protagonismo al alumnado y fomenten actitudes positivas hacia las ciencias y su aprendizaje.

En este trabajo se analiza concretamente la evolución en el alumnado de su comprensión acerca de la noción de elemento químico a lo largo del bachillerato. Para ello se realiza un estudio transversal en el que se comparan los conocimientos y explicaciones aportadas acerca

de diversos aspectos relativos a la noción de elemento químico, en alumnos que finalizan la educación secundaria obligatoria y en estudiantes de ciencias que finalizan el bachillerato. Se trataba de comprobar el alcance de los logros conseguidos en el aprendizaje de los alumnos a lo largo de esta etapa educativa.

Marco de referencia y antecedentes

La noción de elemento químico constituye una pieza clave en el ámbito de la química, cuyo desarrollo histórico ha estado lleno de problemas y vicisitudes, como lo fue la propia conceptualización de la idea de sustancia química, la catalogación de las sustancias conocidas en elementos y compuestos, la determinación de la estructura atómico-molecular y la fórmula química de las sustancias elementales conocidas, la identificación de las señas de identidad que distingue a unos elementos de otros a través de la estructura interna de sus átomos, o la propia clasificación periódica (Scerri, 2007, 2011; Esteban, 2009).

Una parte importante de los trabajos desarrollados sobre los elementos químicos y su clasificación periódica en revistas de corte educativo, han sido estudios orientados desde una perspectiva histórica y epistemológica. De hecho, no siempre ha habido una separación clara entre los estudios realizados desde este enfoque y los de naturaleza didáctica, dado que una parte importante de ellos se mueve en la interfase entre uno y otro campo. Destaca, entre ellos, la amplia pléyade de trabajos que pueden encontrarse en revistas como *Journal of Chemical Education*, muchos de los cuales han contribuido incluso a la clarificación teórica de conceptos de química a nivel avanzado. Como recientemente pusieron de manifiesto Linares e Izquierdo (2007), a través de una revisión bibliográfica de 109 artículos publicados en dicha revista a lo largo del siglo XX, los estudios desarrollados se han centrado principalmente en dos aspectos relevantes: el principio subyacente de la periodicidad observada por Mendeleiev en el comportamiento de las propiedades de los elementos, y las diferentes propuestas para modificar o sustituir el formato original de la Tabla Periódica.

Desde del punto de vista de la ciencia hoy, debemos adoptar como referente básico las definiciones de “elemento químico” aportadas por la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry):

1. Una clase de átomos, todos los átomos con el mismo número de protones en el núcleo atómico [...]
2. Una sustancia química compuesta de átomos con el mismo número de protones en el núcleo atómico. Algunas veces este concepto es denominado sustancia elemental para distinguirla de la definición 1 de elemento químico, aunque fundamentalmente es el término de elemento químico el que se usa para ambos conceptos” (McNaught y Wilkinson, 1997).

Estas dos definiciones se corresponden con dos acepciones distintas de la noción de elemento químico, una de ellas concebida de forma abstracta como una clase de átomos, y la otra entendida como una sustancia real presente en la vida cotidiana y/o en los laboratorios. Véase el siguiente comentario de Scerri (2008) donde se manejan y aclaran ambas acepciones:

“Los elementos representan sustancias abstractas que carecen de lo que normalmente consideramos como propiedades y que representan la forma que los elementos toman cuando se presentan en forma de compuestos. Por ejemplo, el sodio y el cloro como sustancias simples -un metal gris y un gas verdoso respectivamente- no están literalmente presentes en el compuesto cloruro de sodio (sal de mesa). Mendeleev habría dicho que el sodio y el cloro están presentes en el compuesto como los ‘elementos reales’ o elementos abstractos”.

Ambas definiciones coinciden, no obstante, en centrar la esencia de la idea de elemento en la identidad nuclear de los átomos componentes, un aspecto también básico para entender su significado como parte del desarrollo de las teorías sobre la estructura íntima de materia.

Desde el punto de vista escolar, los contenidos referidos a esta temática (Ministerio de Educación y Ciencia, 2007a,b) se estudian en nuestro país de forma reiterada e ininterrumpida desde 3º de E.S.O. (Educación Secundaria Obligatoria) (14-15 años), hasta el 2º curso de la modalidad de Bachillerato de Ciencias y Tecnología (17-18 años) (ver [anexo](#)), aunque con algunas diferencias importantes. De este modo, en 3º de la E.S.O. se parte de la dimensión macroscópica de elemento químico, a través de su antecesor histórico de “sustancia simple”, y los procesos experimentales de diferenciación de las sustancias compuestas, para luego abordar su dimensión submicroscópica a través de la teoría atómica de Dalton, el lenguaje simbólico y los modelos de Thomson y Rutherford. Mientras tanto, a partir de 4º de la E.S.O. estos contenidos se abordan de un modo deductivo avanzando en sentido inverso, profundizando primero en los modelos atómicos y afrontando luego, a partir de ellos, el tema de la clasificación periódica de los elementos como base desde la que inferir y justificar propiedades. Aun cuando esta inversión que se plantea pueda parecer pertinente, dando ocasión así a un recorrido de corte más inductivo en el primer caso y más deductivo en el segundo, resulta en conjunto prematura, por cuanto todavía apenas ha dado ocasión a que el alumnado adquiera un bagaje experiencial y fenomenológico suficiente para poder dar sentido después a los contenidos teóricos que se abordan en cursos superiores. En contraste con ello, a largo de los cursos subsiguientes de 4º E.S.O., 1º y 2º de Bachillerato, el nuevo esquema que se consolida centra más la atención en la estructura lógica disciplinar abstracta que en la estructura psicológica del alumnado.

En estas circunstancias, es de esperar que surjan déficits importantes en el conocimiento al respecto de los alumnos que finalizan el bachillerato, sobre todo si se tiene en cuenta que, ni siquiera, en 3º de E.S.O., la secuencia de enseñanza habitual es siempre la propuesta en el diseño curricular base, sino que suele basarse en un enfoque operativo en el que se comienza la química presentando la Tabla Periódica como herramienta para soportar las reglas de nomenclatura química, entrando luego directamente en el análisis de los modelos atómicos como base para construir configuraciones electrónicas. Tampoco en bachillerato se suele ofrecer un bagaje experimental y fenomenológico suficiente, aunque sea de un modo deductivo, dado que las propiedades que se manejan en esos cursos, como aplicación de la Tabla Periódica, suelen ser solamente propiedades atómicas: volumen atómico, electronegatividad, etc., relacionadas todas ellas con la acepción más abstracta de la idea de elemento.

Al lado de ello, los libros de texto tampoco aportan nada positivo al respecto, sino que su discurso suele estar basado en la retórica de las conclusiones, ignorando lo “principios heurísticos” que facilitaron el desarrollo del conocimiento a lo largo de la historia de la ciencia (Niaz, 2005).

Desde el punto de vista del alumno como aprendiz, que se inicia en estos temas, las investigaciones precedentes se han centrado en el estudio de las dificultades de comprensión del concepto de elemento como sustancia química, así como en torno a la diferenciación entre elemento y compuesto. Por ejemplo, Briggs y Holding (1986), Llorens (1987) y Sanmartí (1990) detectaron un uso diferente del concepto de “sustancia pura” respecto al que tiene en la química escolar. Concretamente, para una parte del alumnado, dicho concepto parecía asociado más bien a lo que desde la ciencia se entiende por elementos químicos, esto es, los componentes últimos de la materia (Pozo y Gómez-Crespo, 1998; Furió y Domínguez, 2007).

Por su parte, a nivel submicroscópico, la idea de elemento químico adquiere también para el alumnado unas connotaciones diferentes a las que presenta en la ciencia escolar, estando asociada necesariamente con la existencia de átomos sueltos o separados, de modo que las moléculas biatómicas, por ejemplo, ya no serían elementos para ellos sino compuestos (Briggs y Holding, 1986, Caamaño, 1994).

Según Linares (2004) una gran parte de las dificultades en torno a la idea de elemento se debe a la ambivalencia de significados comentada que maneja dicha noción: como una clase de átomos y como un tipo de sustancia a la vez. Dicha ambivalencia origina confusiones en los estudiantes tanto a la hora de entender significados en el primer caso, como a la hora de establecer conexiones entre ambas acepciones (Novick y Nussbaum, 1981; Caamaño, 1994; Benarroch, 1998; Furió, 2004; Gómez-Crespo y Pozo, 2004, Gómez-Crespo et al., 2004).

A todas estas dificultades hemos de añadir otras que se relacionan con la forma de abordar habitualmente estos temas en el marco escolar. Así, en un estudio llevado a cabo por Franco-Mariscal (2011), a través de entrevistas realizadas con profesores de química de secundaria e investigadores en didáctica de la química, bastantes de los consultados coincidieron en afirmar que muchas de las dificultades provienen de deficiencias en el proceso de enseñanza. En unos casos, estos defectos de enseñanza se atribuían a deficiencias en el proceso de transposición didáctica, lo que afecta tanto a la selección como a la secuenciación de contenidos. En otros se relacionaban con la escasa conexión existente entre los contenidos y la vida cotidiana del alumno. Finalmente, también se responsabilizaba a la propia metodología de enseñanza imperante.

Así, pues, existe ya un cierto caudal de investigación relevante sobre las dificultades de comprensión del alumnado, centrada en unos casos en la idea de elemento como sustancia química y en otros en la idea de elemento como conjunto de átomos de una misma clase. Sin embargo, no se han realizado apenas estudios en torno a la noción de elemento desde el punto de vista de su identidad nuclear, como tampoco sobre la identificación de elementos específicos en objetos y materiales del entorno cotidiano. Uno de los pocos estudios del primer tipo es el de Schmidt, Baumgärtner y Eybe (2003). En él se estudiaron en una muestra de más de 3000 alumnos de secundaria cuáles son las dificultades de aprendizaje que encuentra el alumnado en los conceptos de isótopo y alótropo. Según esta investigación, las ideas alternativas de los estudiantes distinguían entre átomos estándares y átomos de isótopos, diferenciándose los primeros en que contienen neutrones y protones en igual número y son más estables. Según este estudio, algunos alumnos consideraban por otra parte, además, que el grafito y el diamante son isótopos, confundiendo así la condición de elementos isótopos con el fenómeno de alotropía.

En esta línea de trabajo, seguimos planteando nuestro interés por profundizar en las dificultades habituales en el aprendizaje que encuentran los alumnos en torno a la idea de elemento químico. Se trata en este caso de comprobar qué saben los estudiantes acerca de estos temas cuando finalizan tanto sus estudios de E.S.O. como de Bachillerato, al objeto de valorar la incidencia que ha tenido sobre el alumnado la enseñanza recibida. En este trabajo nos centraremos únicamente en la noción de elemento químico, desde el punto de vista de su identidad y de sus propiedades, dejando para futuros estudios el tema de la periodicidad y de la clasificación de los elementos químicos.

Diseño de la investigación

El objetivo de esta investigación es abordar seis dimensiones que consideramos importantes en la idea de elemento químico: a) su diferenciación respecto a la de compuesto, b) la

identificación de los elementos químicos metálicos y no metálicos, c) la universalidad de los elementos químicos y la identidad de éstos desde el punto de vista de su composición nuclear, d) el cálculo de las partículas constituyentes de un átomo, e) la identificación de elementos en nuestro entorno inmediato, y f) la identificación de propiedades que diferencian a los elementos químicos, así como la justificación de la existencia de elementos con propiedades similares.

Se han escogido como referentes para este estudio los niveles de 4º de E.S.O. y 2º de Bachillerato de Ciencias, al corresponderse con cursos terminales en los estudios de Secundaria Obligatoria y postobligatoria, respectivamente. De esta manera, los resultados encontrados al evaluar distintos aspectos relacionados con el tópico que nos ocupa, podrán adoptarse como indicadores de la evolución a lo largo de la enseñanza, como también de los obstáculos y dificultades que aparecen a través de la enseñanza habitual.

El estudio se ha realizado con una muestra de 136 estudiantes, 67 de los cuales finalizaban 4º de E.S.O. y cursaban la asignatura optativa de Física y Química en tres institutos de secundaria, y 69 procedentes de 2º de Bachillerato de Ciencias, que incluían la materia de Química en su currículo, y pertenecían también a tres centros de secundaria de características similares a los anteriores. Todos estos alumnos habían recibido una enseñanza tradicional desde el punto de vista metodológico, muy alejada de las posiciones CTS, y ninguno de estos estudiantes había participado, ni durante el curso en el que fueron encuestados ni en los anteriores, en ninguna propuesta innovadora en el aprendizaje de estos temas.

El instrumento utilizado para la recogida de datos consistió en un cuestionario basado en seis preguntas que cubrían diferentes aspectos de la noción de elemento químico. Cuatro de las cuestiones reclamaban conocimiento de tipo declarativo o de aplicación directa de lo aprendido (cuestiones 1, 2, 4 y 6), mientras las dos restantes exigían una aplicación más elaborada de los conocimientos adquiridos (cuestiones 3 y 5). En el caso de la cuestión 3, los alumnos debían de predecir la universalidad de los elementos químicos utilizando el número atómico como propiedad nuclear que los identifica y los hace invariantes. En el caso de la cuestión 5 se trataba de comprobar el grado de conexión de lo aprendido con la vida diaria a través de la identificación de elementos químicos en materiales y objetos de nuestro entorno cotidiano. El cuestionario se administró durante el último trimestre del curso, cuando éste ya finalizaba.

El análisis de datos tuvo dos partes. Una primera de carácter cualitativo que sirvió para definir un sistema de categorías de las respuestas aportadas en cada pregunta, y un tratamiento posterior de tipo cuantitativo basado en el análisis de frecuencias y el establecimiento de comparaciones. Dicho análisis se realizó con el programa SPSS 17.0. Para comparar si existían diferencias estadísticamente significativas entre 4º de E.S.O. y 2º de Bachillerato se realizó la prueba chi-cuadrado de Pearson, al considerar categorías que no siempre mantienen una relación estrictamente ordinal. En el caso en el que las frecuencias absolutas esperadas fueron iguales o inferiores a cinco en más allá del 20% de las casillas se realizó también la prueba exacta de Fisher.

Resultados y discusión

A continuación se realiza un análisis detallado de cada una de las cuestiones.

Cuestión 1. Diferencia entre elemento y compuesto químico

La primera cuestión, formulada con el enunciado “¿Qué crees que diferencia un elemento de un compuesto químico?”, trataba de analizar el tipo de comprensión que mantenía el alumnado en

torno a la diferenciación de los conceptos de elemento y compuesto químico, algo que ya ha sido analizado en otros estudios pero que también queríamos contemplar aquí.

Del análisis de las respuestas dadas se pueden establecer las cinco categorías que se indican seguidamente. Junto a cada categoría se muestran ejemplos de respuestas proporcionadas por los propios alumnos, al objeto de ilustrar el sentido que hemos atribuido a cada una de ellas.

Categoría A: Respuesta adecuada utilizando una idea submicroscópica

En esta primera categoría se engloban las respuestas que utilizan adecuadamente el nivel atómico como marco de su explicación para establecer la diferencia entre un elemento y un compuesto, lo que se considera indicativo del uso de ideas submicroscópicas por parte de los estudiantes:

“Un elemento está formado por átomos del mismo tipo. En cambio, los compuestos están formados por varios átomos”.

“Un compuesto está formado por un conjunto de átomos, y los elementos están formados por un mismo tipo de átomos”.

Categoría B: Otras respuestas adecuadas

En la segunda categoría se consideran respuestas que no emplean de forma explícita un lenguaje submicroscópico o que recurren al lenguaje simbólico. Así, se agrupan respuestas como las siguientes, que definen un elemento como una sustancia indivisible, a partir de la cual se constituyen los compuestos:

“La diferencia es que un elemento es único y un compuesto está formado por elementos químicos”.

“Un elemento químico se representa por un símbolo químico dado en la Tabla Periódica. El compuesto químico está formado por varios elementos. Las propiedades de un compuesto no tienen por qué coincidir con las propiedades de los elementos por separado”.

Categoría C: Respuesta intermedia utilizando ideas submicroscópicas

La tercera categoría agrupa diferentes respuestas submicroscópicas incompletas o que manejaban ideas parcialmente inadecuadas. En este sentido, se encuentran varias respuestas de este tipo que utilizan el concepto de átomo. Por un lado, algunos alumnos dan la definición de compuesto, pero no incluyen la de elemento:

“Un compuesto químico está formado por varios átomos”.

Asimismo, algunas respuestas combinan ideas submicroscópicas con macroscópicas:

“Un elemento representa un tipo de átomos, mientras que un compuesto está formado por uno o varios elementos”.

Categoría D: Otras respuestas intermedias.

La cuarta categoría engloba respuestas de otro tipo, también incompletas o con errores conceptuales leves. Así, se encuentran un gran número de respuestas que únicamente definen uno de los dos términos, generalmente el de compuesto, olvidando relacionarlo con el segundo concepto:

“El compuesto está formado por varios elementos”.

Al igual que se detectó en el marco submicroscópico, se encuentra como respuesta que un compuesto está formado por unos pocos elementos.

“Un elemento está formado por un elemento. El compuesto químico está formado por dos elementos”.

Por último, algunos estudiantes intuyen la diferencia pero establecen como criterio simplemente su presencia o no en la Tabla Periódica:

“Lo que está en la Tabla Periódica es un elemento, y los que no aparecen no son elementos sino compuestos químicos”.

Categoría E: Respuestas totalmente inadecuadas o en blanco.

La quinta y última categoría agrupa las distintas respuestas incorrectas y aquellas que se presentan en blanco.

Así, algunos alumnos asocian erróneamente que tanto elementos como compuestos están constituidos por otras entidades tales como moléculas o células en lugar de por átomos.

“El compuesto está formado por varias moléculas y el elemento por una”.

Otros, por su parte, creen que los compuestos químicos son especies que forman parte de los elementos:

“Un elemento es algo que podemos tocar o relacionarlo con los sentidos y un compuesto químico se encuentra dentro de estos elementos”.

En cuanto a la frecuencia de aparición de las diferentes categorías, la Figura 1 muestra los porcentajes de cada una de estas respuestas dadas por estudiantes de 4º de E.S.O. y 2º de Bachillerato.

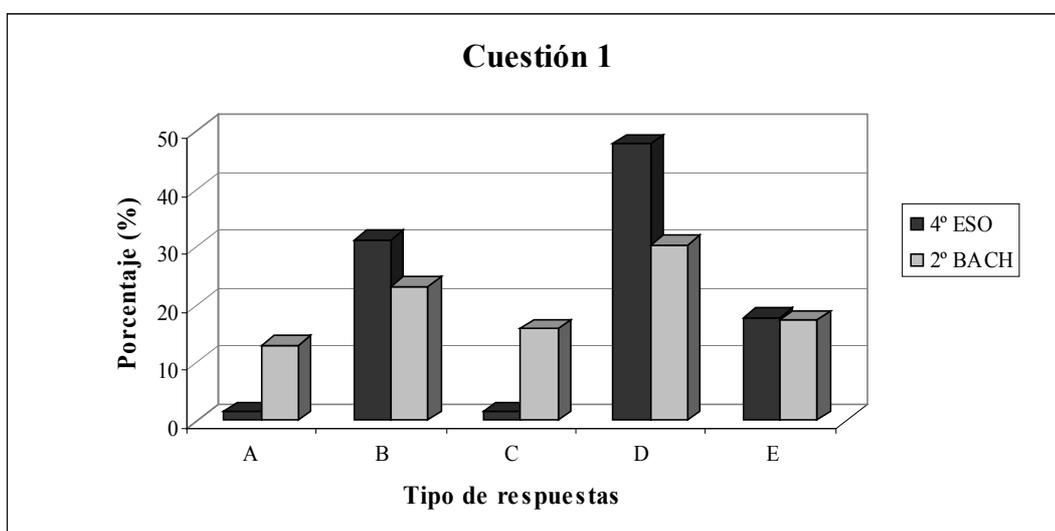


Figura 1. Categorías de respuestas para la cuestión 1 en torno a la diferencia entre elemento y compuesto químico, de estudiantes de 4º de E.S.O. y 2º de Bachillerato (A. Respuesta adecuada utilizando una idea submicroscópica; B. Otras respuestas adecuadas; C. Respuesta intermedia utilizando ideas submicroscópicas; D. Otras respuestas intermedias; E. Respuestas totalmente inadecuadas o en blanco).

Antes de analizar la evolución desde 4º de E.S.O. a 2º de Bachillerato, tiene interés realizar algunos comentarios acerca de los resultados obtenidos en los alumnos de 4º de E.S.O. Así, los datos indican que sólo un tercio de los estudiantes que finalizan este curso aportan respuestas totalmente satisfactorias, sea a nivel macroscópico o submicroscópico, mientras que un 18% de los alumnos da respuestas totalmente inadecuadas a la hora de interpretar las diferencias entre elemento y compuesto químico. El resto, se mueve en explicaciones parciales que contienen algunos rasgos adecuados, pero también imprecisiones o incluso errores conceptuales. Además, tan solo un 3% del alumnado aporta respuestas basadas en un modelo submicroscópico de la materia, ya sean adecuadas o intermedias, mientras la inmensa mayoría prefiere emplear explicaciones basadas en un modelo descriptivo macroscópico. Todo ello indica, por un lado, las dificultades que encierra para los alumnos el concepto de elemento químico y su diferenciación del de compuesto, y de otro, lo escasamente asumido que tienen, al terminar la E.S.O. de la rama de ciencias, un modelo submicroscópico de materia.

Al comparar estos resultados con los de 2º de Bachillerato, se observa que también los estudiantes de este último curso, en términos globales, prefieren explicar la diferencia entre un elemento y un compuesto haciendo uso de ideas macroscópicas y muy puntualmente de

carácter simbólico (categorías B y D) en lugar de submicroscópicas, ya sean total o parcialmente adecuadas. No obstante, parece que la desproporción entre respuestas macroscópicas y submicroscópicas es menor en Bachillerato, lo que denota una cierta influencia, al menos en el lenguaje empleado, de la enseñanza recibida a lo largo de los dos cursos anteriores. En otras palabras, parece que los alumnos que finalizan bachillerato de ciencias mejoran algo en su competencia para emitir argumentos y explicaciones a nivel submicroscópico, sin bien ello no garantiza un aumento en el nivel de adecuación de las explicaciones. No obstante, la proporción de respuestas consideradas totalmente satisfactorias, independientemente del nivel de respuesta elegido, ya sea macroscópico o submicroscópico, sigue una tónica muy parecida (36%).

Al objeto de comprobar si las diferencias apreciadas entre ambas submuestras (4º de E.S.O. y 2º de Bachillerato) son estadísticamente significativas, aplicamos la prueba de chi-cuadrado. Cuando comparamos las distribuciones de porcentajes de ambas submuestras, obtenemos un $\chi^2=17,67$ (g.l.=4), $p<0,001$, lo que sugiere diferencias estadísticamente significativas entre ambos subgrupos. Para averiguar la causa de esas diferencias agrupamos las respuestas adecuadas, por un lado, las intermedias, por otro, y las inadecuadas, obteniendo un $\chi^2=0,18$ (g.l.=2), $p>0,9$, lo que indica que no hay diferencias significativas. Si agrupamos ahora las dos categorías macroscópicas, de un lado, y de otro las dos categorías submicroscópicas, además de considerar las respuestas inadecuadas, obtenemos un $\chi^2=17,55$ (g.l.=2), $p<0,001$, que indica diferencias, ahora sí, estadísticamente significativas.

Por tanto, aun cuando se aprecia un cierto progreso en el uso de explicaciones submicroscópicas para diferenciar elementos de compuestos, los alumnos que finalizan el Bachillerato siguen aportando mayoritariamente respuestas macroscópicas. No obstante, aunque difieren significativamente de los que finalizan secundaria obligatoria en el grado de aportación de respuestas basadas en un modelo submicroscópico, no se aprecian diferencias significativas en el grado de adecuación global de sus explicaciones. Estos resultados sugieren, a nuestro modo de ver, un pobre bagaje para el aprendizaje alcanzado después de dos cursos de Bachillerato, lo cual revela dificultades en el aprendizaje de este tópico, al menos dentro del enfoque didáctico tradicional bajo el que los alumnos fueron enseñados.

Cuestión 2. Identificación de los elementos químicos metálicos y no metálicos

La segunda cuestión planteada trataba de averiguar si los estudiantes son capaces de identificar el carácter metálico o no de un cierto número de elementos. La pregunta presentada tenía el siguiente enunciado: “Indica el nombre y el símbolo de: a) 5 elementos químicos metálicos; b) 5 elementos no metálicos”.

Para el análisis de esta cuestión se estableció el siguiente sistema de categorías:

Categoría A: Mencionan los nombres y los símbolos de cinco metales

Categoría B: Mencionan los nombres y los símbolos de cuatro metales

Categoría C: Mencionan los nombres y los símbolos de tres metales o menos

En esta rúbrica consideramos que un alumno sabe identificar un elemento, cuando sabe escribir su nombre y su símbolo simultáneamente. Si sabe uno pero no el otro, se considera que el elemento no queda completamente identificado. Por tanto, si un alumno identifica cinco metales pero no escribe sus símbolos (o viceversa) quedaría en la categoría C. El sistema de categorías utilizado para el apartado b) de esta cuestión es idéntico al descrito para los metales, pero sustituyéndolo por no metales.

Las Figuras 2 y 3 recogen los resultados obtenidos en alumnos que finalizan 4º de E.S.O. y 2º de Bachillerato para el caso de metales y no metales, respectivamente. Dichos resultados indican que el porcentaje de alumnos que son capaces de identificar el nombre y el símbolo de cinco elementos químicos, ya sean metales o no metales, mejoran sensiblemente a lo largo del Bachillerato. Sin embargo, las diferencias que se aprecian son pequeñas, y la prueba estadística de chi-cuadrado para la globalidad de los datos sugiere tanto, para la identificación de metales ($\chi^2=2,13$; g.l. =2; $p>0,05$) como de no metales ($\chi^2=4,37$; g.l.=2; $p>0,05$), que no existen diferencias significativas entre ambas submuestras.

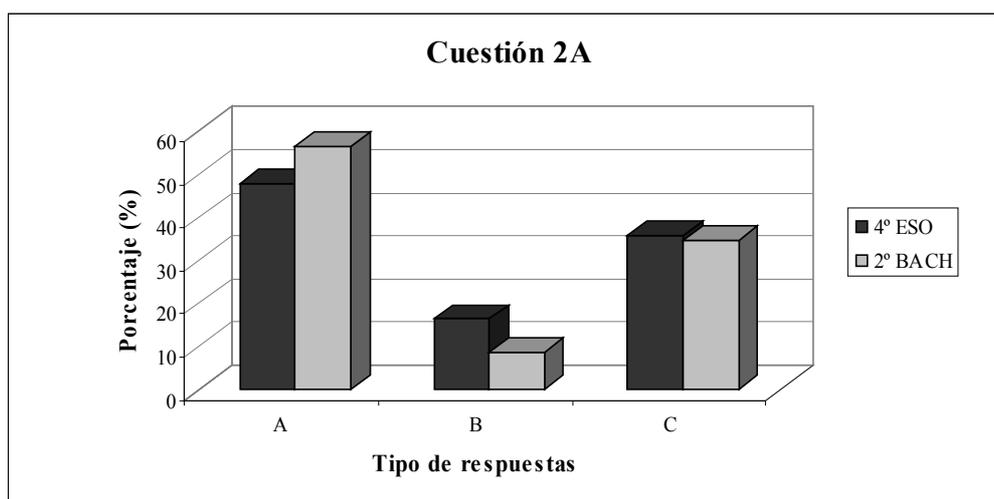


Figura 2. Tipo de respuestas para la cuestión 2A en metales (A. Nombres y símbolos de cinco metales; B. Nombres y símbolos de cuatro metales; C. Nombres y símbolos de tres metales o menos).

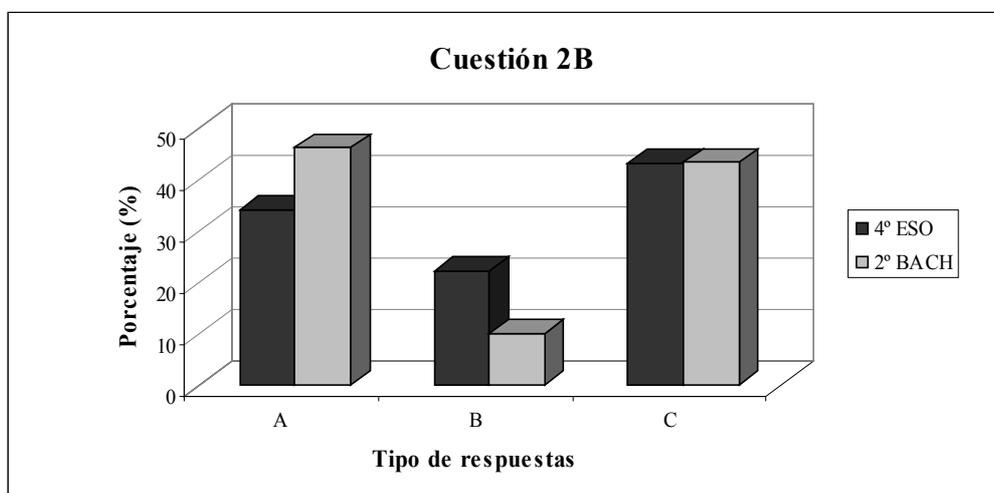


Figura 3. Tipo de respuestas para la cuestión 2B, en torno a no metales (A. Nombres y símbolos de cinco no metales; B. Nombres y símbolos de cuatro no metales; C. Nombres y símbolos de tres no metales o menos).

La Figura 4 muestra el porcentaje de los metales citados de manera adecuada, con nombre y símbolo. Así, los estudiantes de 4º de E.S.O. mencionan 29 metales, mientras que los de 2º de Bachillerato citan un total de 24. Se observa que los metales más citados en 4º de E.S.O. (hierro, plata y oro) se encuentran también entre los más mencionados en 2º de Bachillerato. No obstante, la serie de metales alcalinos se menciona de forma mayoritaria en bachillerato, probablemente debido a una memorización rutinaria de la Tabla Periódica en este nivel.

De forma análoga, la Figura 5 ilustra el porcentaje de los no metales citados correctamente con nombre y símbolo. Cabe destacar que el porcentaje de no metales mencionados por el

alumnado de ambos niveles educativos es muy satisfactorio, ya que de un total de 22 no metales existentes en la Tabla Periódica, los alumnos de 4º de E.S.O. y 2º de Bachillerato citaron 17 y 18 elementos, respectivamente. En este caso, existen también algunas coincidencias en los no metales más citados en los dos cursos. Así, el oxígeno y el nitrógeno se encuentran entre los más mencionados, al tratarse de los dos gases principales de la atmósfera. Destaca, sin embargo, el flúor como elemento más citado en bachillerato. Asimismo, se observa un aumento en el porcentaje de citación del resto de elementos de la serie halógena, nuevamente por la memorización de la Tabla Periódica por grupos por parte del alumnado. Por último, el hidrógeno fue considerado en 4º de E.S.O. tanto como metal como no metal, y únicamente como no metal en Bachillerato.

Cuestión 3. Universalidad de los elementos químicos

La tercera cuestión intentaba evaluar si los alumnos reconocen la invarianza de los elementos químicos en el universo, e indirectamente si comprenden la noción de elemento desde el punto de vista de su composición nuclear. Se trata, de esta manera, de comprobar hasta qué punto tienen en mente al número de protones del núcleo (número atómico) como atributo que define la identidad de un elemento químico. La tarea propuesta aborda la universalidad de los elementos químicos con el pretexto de una supuesta nave espacial que se traslada a otro planeta, bajo el siguiente enunciado:

“Imagina una nave espacial que te trasladara a un lugar muy lejano del universo. ¿Crees que encontrarías allí los mismos elementos químicos que en la Tierra? ¿O crees que existirían otros elementos totalmente diferentes? Explícalo”.

Las respuestas dadas por los estudiantes se pueden categorizar en cuatro tipos, que se presentan a continuación con algunos ejemplos extraídos de los cuestionarios de los alumnos.

Categoría A: Maneja el número de protones como criterio de identidad y de ahí su universalidad

En esta primera categoría se consideran como respuestas totalmente satisfactorias para manifestar la universalidad de los elementos, aquellas explicaciones que aluden a la composición nuclear del átomo a partir de partículas elementales, así como aquellas que hacen referencia al número atómico o número de protones para identificar a un elemento:

“Sí, porque en el universo hay los mismos elementos que están en la Tierra. El universo está formado por los mismos elementos en cualquier sitio porque el número de protones que tienen no cambia”.

“Creo que habría los mismos elementos porque las partículas que los componen son las mismas en todo el universo”.

Categoría B: Tienden a admitir la universalidad de los elementos con explicaciones de otro tipo

La segunda categoría agrupa explicaciones que, a pesar de admitir la universalidad de los elementos, no pueden considerarse completamente adecuadas ya que no utilizan un modelo submicroscópico basado en la existencia de partículas elementales, sin el cual es difícil comprender del todo la universalidad de la materia.

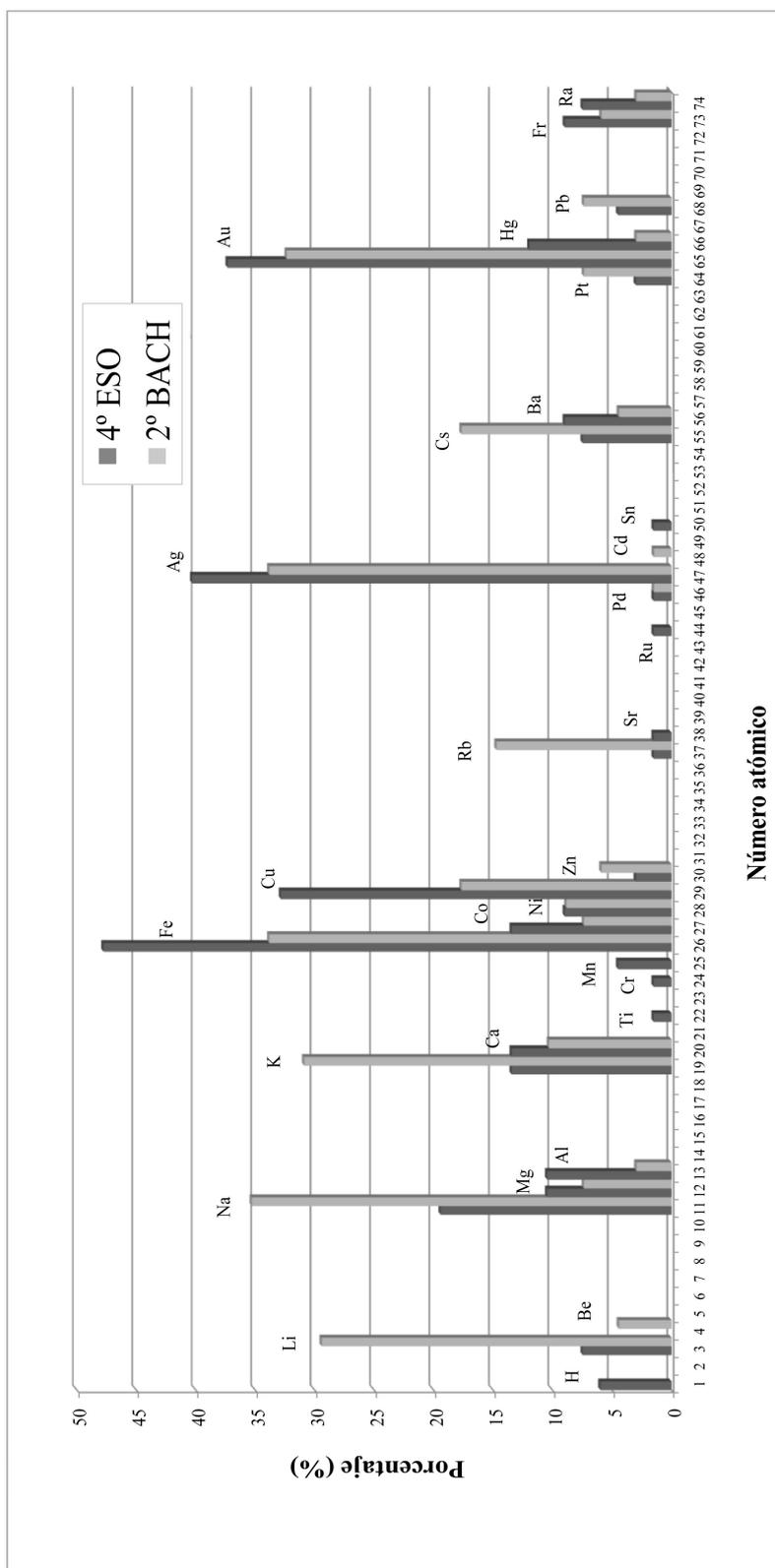


Figura 4. Porcentaje de metales mencionados con nombre y símbolo adecuadamente.

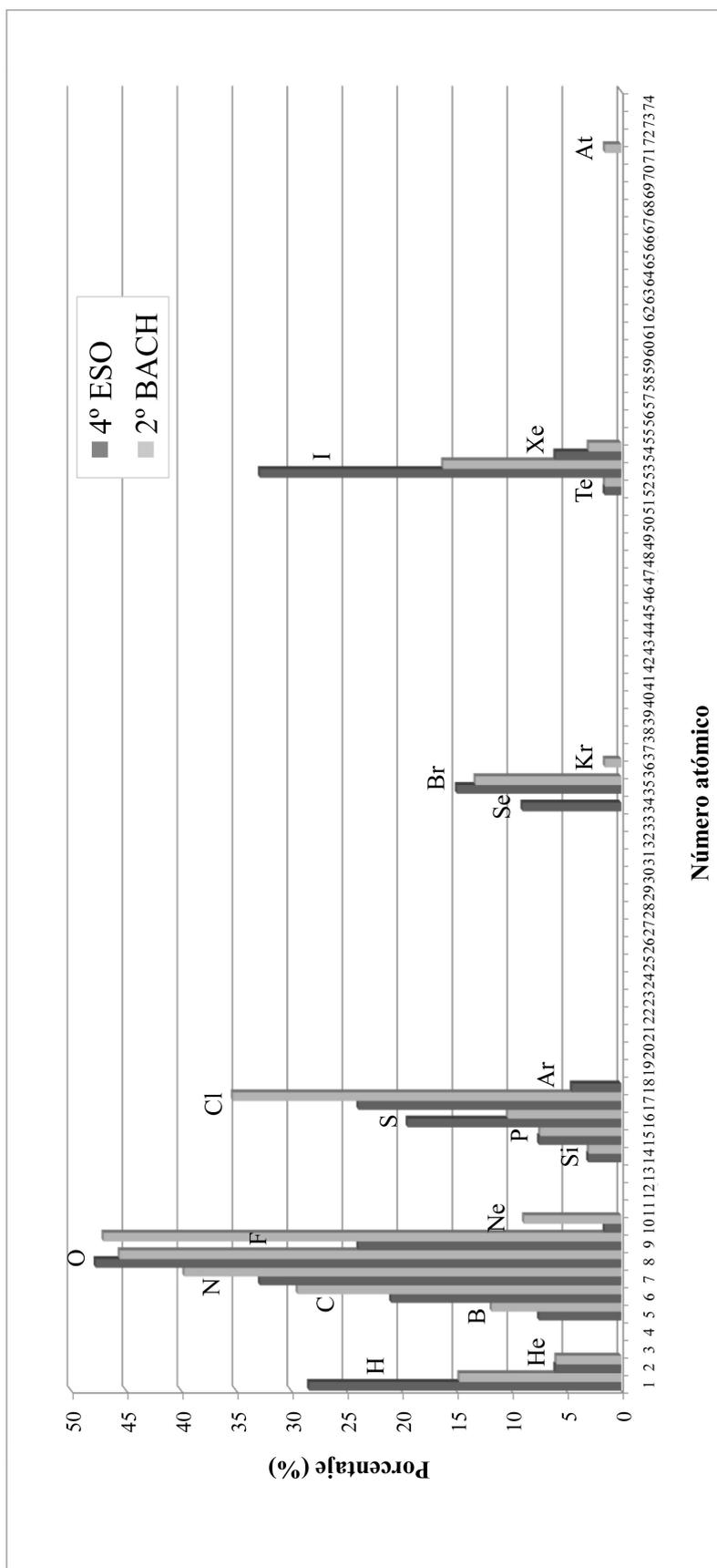


Figura 5. Porcentaje de no metales mencionados con nombre y símbolo adecuadamente.

Entre estas respuestas destacan explicaciones que remiten al origen cosmológico de los elementos químicos tipo explosión supernova o Big Bang:

“Habría los mismos elementos que en la Tierra porque los elementos se forman al crearse una estrella y se esparcen al transformarse y explotar como supernova. Siempre se forman los mismos elementos”.

Otros estudiantes hacen alusión a la formación de los elementos en el interior de una estrella:

“Habría más o menos los mismos, porque los elementos proceden de estrellas, y si ese planeta se ha formado con una estrella como la Tierra debe tener casi todos los elementos de la Tierra, aunque también puede que haya otros diferentes”.

Categoría C: Tienden a admitir la universalidad sin explicaciones o con explicaciones inadecuadas

Esta categoría agrupa aquellas respuestas en las que los estudiantes admiten la universalidad de los elementos químicos pero o bien no justifican su posición, o bien la información aportada es incompleta o inadecuada:

“Encontraremos los mismos elementos que en la Tierra y no existirán otros elementos diferentes”.

Otras respuestas inadecuadas se basan en una nueva composición que tendrían los elementos químicos, mostrando en estos casos un desconocimiento de la constitución interna de la materia:

“Se encontrarían los mismos elementos pero con diferente composición y proporción”.

Categoría D: No admite la universalidad de los elementos

Para finalizar, la cuarta categoría agrupa aquellas respuestas que no admiten la universalidad de los elementos o que lo hacen con explicaciones inadecuadas:

“Se encontrarían elementos totalmente diferentes, ya que el clima, la gravedad, la superficie o la cercanía del Sol influyen mucho”.

La frecuencia de aparición de las diferentes categorías citadas se recoge en la Figura 6. De los datos recopilados, se desprende que en las dos categorías de respuestas más adecuadas (A y B) sólo existen diferencias mínimas entre ambos grupos de alumnos. Así, los estudiantes de Bachillerato dan un porcentaje de respuestas (total o parcialmente adecuadas) ligeramente mayor que los alumnos de 4º de E.S.O., pero la proporción de respuestas inadecuadas o sin explicación siguen siendo muy similares. Se observa además que el estudiante no suele utilizar un modelo submicroscópico para explicar la universalidad de los elementos químicos, y prefiere el uso de otro tipo de explicaciones que remiten al origen cosmológico de los mismos, y que por tanto, no pueden considerarse totalmente explícitas desde el punto de vista químico.

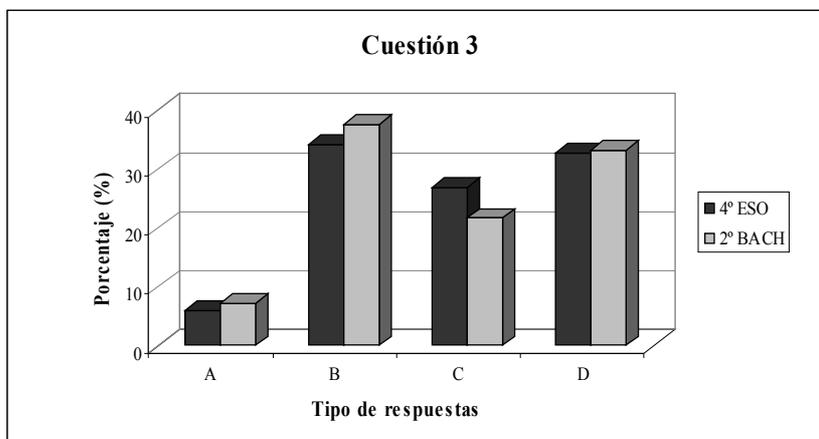


Figura 6. Tipos de respuesta para la cuestión 3 en torno a la universalidad de los elementos químicos de alumnos de 4º de E.S.O. y 2º de Bachillerato (A. Maneja el nº de protones como criterio de identidad y de ahí su universalidad; B. Tienden a admitir la universalidad de los elementos con explicaciones de otro tipo; C. Tienden a admitir la universalidad sin explicaciones o con explicaciones inadecuadas; D. No admite la universalidad de los elementos).

Al comparar las distribuciones de porcentajes de ambas submuestras recogidas en la Figura 6, se obtiene para la prueba exacta un $\chi^2=0,63$ (g.l.=3), $p>0,05$, lo que sugiere que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las ideas manifestadas por los estudiantes de E.S.O. y Bachillerato en cuanto a la universalidad de los elementos químicos, lo que sugiere una pobre comprensión, en torno a la esencia de lo que es un elemento desde el punto de vista de su composición nuclear. Es decir, a lo largo del bachillerato no parece producirse progreso en cuanto a la capacidad de los alumnos para identificar el número atómico como señal de identidad de un elemento químico.

Cuestión 4. Cálculo de las partículas constituyentes del átomo

Esta pregunta evaluaba si el estudiante era capaz de realizar el cálculo de las partículas que constituyen un átomo ayudándose de la información que aparece en la Tabla Periódica. La cuestión se planteó así: *“Con la ayuda de la Tabla Periódica, ¿sabrías indicar cuántos protones, electrones y neutrones tiene un átomo de hierro?”*

Cabe destacar que a los estudiantes no se les indicó de qué isótopo de los posibles tenía que hacer el cálculo. En la corrección de los cuestionarios se supuso que el alumno debía conocer que el isótopo mayoritario es $A = 56$, al ser la masa atómica del hierro 55,85 umas. Como sabemos, no siempre el isótopo más estable es exactamente el número entero más próximo a la masa atómica, aunque en este caso sí se cumple al ser los isótopos del hierro, ^{54}Fe , ^{56}Fe , ^{57}Fe y ^{58}Fe , y sus abundancias relativas en las que se encuentran en la naturaleza 5,8%, 91,7%, 2,2% y 0,3%, respectivamente.

Del análisis de las respuestas de los alumnos se pudieron establecer tres categorías, que se muestran a continuación con algunos ejemplos:

Categoría A: Aporta adecuadamente el número de partículas de los tres tipos

En esta categoría, se incluyeron respuestas que indicaban acertadamente el número de protones, electrones y neutrones del átomo de hierro, tal como: *“26 protones, 26 electrones, 30 neutrones”*.

Ciertos alumnos de Bachillerato matizaron el carácter neutro del átomo de hierro al indicar el número de electrones: *“26 protones, 26 electrones (si es neutro), 30 neutrones”*.

Categoría B: Aporta adecuadamente el número de protones y de electrones, pero no el de neutrones

Se encontraron diversas respuestas en las que el estudiante manifestaba que no sabía calcular el número de neutrones de un átomo. Por un lado, algunos alumnos redondearon la masa atómica del hierro a la baja, de forma que el número de neutrones que obtenían era el incorrecto, al pertenecer a un isótopo (^{55}Fe) que no existe en la naturaleza: *“26 protones, 26 electrones, 29 neutrones”*.

Otros alumnos, presentaron el número de neutrones en blanco, poniendo de manifiesto que desconocían cómo realizar su cálculo: *“26 protones, 26 electrones, --- neutrones”*.

También se encontraron respuestas inadecuadas que suponían que el número de neutrones coincidía con el de protones y electrones: *“26 protones, 26 electrones, 26 neutrones”*.

Finalmente, ciertos estudiantes también supusieron que el número de neutrones se calculaba como la diferencia entre protones y electrones, o bien era su doble.

Categoría C: No aporta ninguna de las tres partículas correctamente o deja la pregunta en blanco

La tercera y última categoría agrupó aquellas respuestas que no se ajustaban a las categorías anteriores o que se dejaron sin responder.

La Figura 7 muestra los porcentajes obtenidos para cada categoría. Como se observa en los datos, sorprende el bajo porcentaje de estudiantes de 4º de E.S.O. (un 3%) y de 2º de Bachillerato (un 29%) que es capaz de calcular correctamente el número de cada tipo de partículas presentes en un átomo de hierro neutro, si bien hemos de reconocer que se detecta también que el problema fundamental se encuentra en el cálculo del número de neutrones, al situarse en la segunda categoría más de la mitad de los alumnos de 4º de E.S.O. que realizaron el cuestionario y un 43,5% de los de Bachillerato. También se consideran elevados los porcentajes de estudiantes que no responden adecuadamente a la cuestión, que supera el 40% en 4º de E.S.O. y el 27% en Bachillerato.

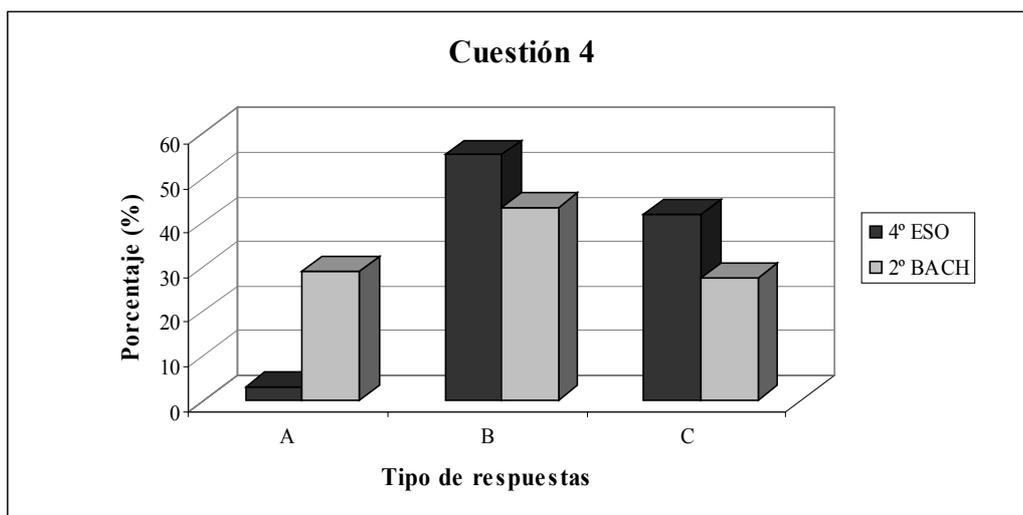


Figura 7. Porcentajes de cada tipo de respuesta en la cuestión 4 sobre el cálculo de las partículas elementales del átomo de hierro (A. Aporta adecuadamente el número de partículas de los tres tipos; B. Aporta adecuadamente el número de protones y electrones, pero no el de neutrones; C. No aporta ninguna de las tres partículas correctamente).

Por último, la prueba de chi-cuadrado ($\chi^2 = 17,15$; g.l. = 2; $p < 0,001$) sugiere que existen diferencias significativas entre los conocimientos de los estudiantes de 4º de E.S.O. y 2º de Bachillerato, a favor de éstos últimos, al ser capaces de dar más respuestas adecuadas en la categoría A.

Cuestión 5. Identificación de elementos en el entorno

Esta dimensión evaluaba si el estudiante es capaz de identificar la presencia de elementos químicos en su entorno inmediato. La tarea propuesta fue:

“Una gran parte de los elementos químicos existentes se encuentran formando parte de objetos y materiales próximos en nuestra vida cotidiana. Intenta identificar todos los elementos químicos que conozcas (hasta un máximo total de 10 elementos), junto a los materiales u objetos de los que forman parte entre aquellos de los que puedas tener en casa. No importa que los elementos estén formando parte de compuestos químicos”.

	Elemento	Material u objeto
Ejemplo 1	Oro	El anillo de mi madre
Ejemplo 2	Oxígeno	Agua
1		
2	
10		

Las respuestas de los estudiantes se pueden categorizar de acuerdo con esta rúbrica:

Categoría A: Cita adecuadamente 9 ó 10 elementos y materiales.

Categoría B: Cita adecuadamente de 5 a 8 elementos y materiales.

Categoría C: Cita adecuadamente menos de 5 elementos y materiales.

Como se observa en la Figura 8, que ilustra los porcentajes encontrados en cada categoría, aproximadamente un 60% de los estudiantes, tanto de 4º de E.S.O. como de Bachillerato, es capaz de identificar en su entorno al menos nueve elementos de un total de diez solicitados. Asimismo, prácticamente un 90% del alumnado de los dos niveles, identifica en su entorno al menos cinco elementos de un total de diez, resultados que se pueden considerar satisfactorios.

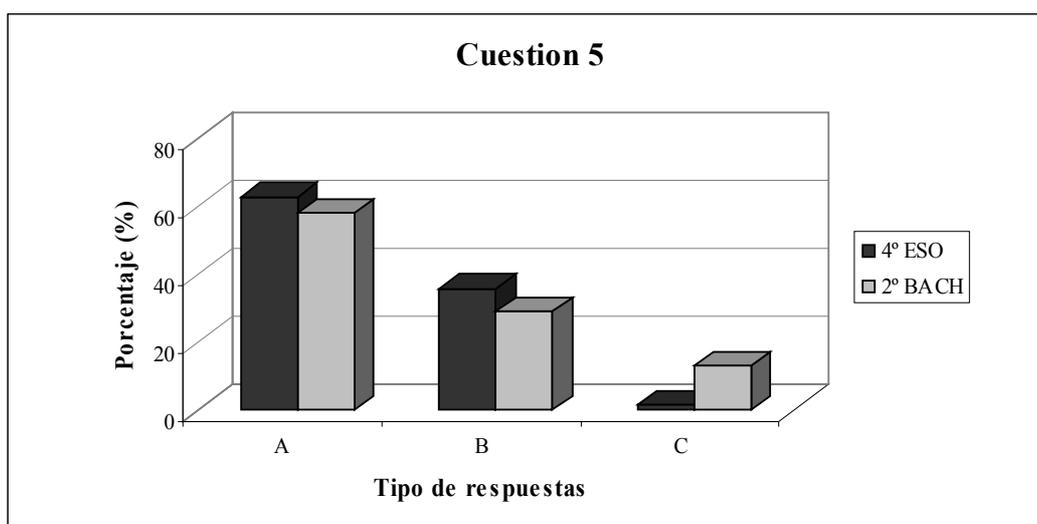


Figura 8. Tipos de respuesta para la cuestión 5 referente a la identificación de los elementos en el entorno del estudiante (A. Cita adecuadamente 9 ó 10 elementos y materiales; B. Cita adecuadamente de 5 a 8 elementos y materiales; C. Cita adecuadamente menos de 5 elementos y materiales).

Al comparar las distribuciones de porcentajes de ambas submuestras, se obtiene un $\chi^2 = 6,78$ (g.l.=2), $p < 0,05$, lo que sugiere diferencias estadísticamente significativas entre 4º de E.S.O. y 2º de Bachillerato. No obstante, las diferencias apreciadas se mueven en contra de lo que en principio esperábamos, ya que se aprecia un cierto empeoramiento al pasar de E.S.O. a Bachillerato, aspecto éste que puede ser debido al mayor grado de formalización y el menor nivel de acercamiento a lo cotidiano que suele darse a la enseñanza de la Química -como también de la Física- en el Bachillerato.

Cuestión 6. Identificación de propiedades que diferencian a los elementos químicos y justificación de la existencia de elementos con propiedades similares

La última cuestión pretendía por una parte, evaluar si el alumnado es capaz de identificar propiedades que diferencien a unos elementos de otros; y por otra, de admitir la existencia de elementos con propiedades similares. La cuestión se formuló con el enunciado:

“a) Señala algunas propiedades que sirvan para diferenciar unos elementos de otros. b) ¿Crees que existen elementos con propiedades parecidas entre sí? (Justifica la respuesta)”.

Tabla 1. Frecuencias de propiedades citadas para diferenciar elementos.

Propiedad	Frecuencia en 4º de E.S.O.	Frecuencia en 2º de Bachillerato	Frecuencia total
Carácter metálico / no metálico	25	17	42
Estado de agregación	21	13	34
Temperatura de fusión	10	15	25
Dureza	7	15	22
Masa atómica	8	14	22
Temperatura de ebullición	6	13	19
Electronegatividad	0	19	19
Tamaño / Volumen atómico	2	15	17
Conductividad eléctrica	3	12	15
Solubilidad	3	11	14
Afinidad electrónica (*)	1	12	13
Maleabilidad	3	9	12
Número atómico	3	8	11
Valencia	9	2	11
Densidad	1	10	11
Ductilidad	2	8	10
Elasticidad	5	2	7
Número másico	3	3	6
Polaridad	0	5	5
Reactividad química	3	1	4
Conductividad calorífica	2	2	4
Estado / Número de oxidación	2	2	4
Composición química	2	2	4
Energía de ionización	0	4	4
Fragilidad	0	3	3
Radioactividad	1	1	2
Capacidad de disolución en agua	0	2	2
Energía de disociación	0	1	1
Magnetismo	0	1	1
Acidez	0	1	1

(*) Propiedad denominada en la E.S.O. como capacidad para ceder o captar electrones.

La Tabla 1 recoge la frecuencia de las 30 propiedades físicas y químicas citadas de forma adecuada en 4º de E.S.O. y 2º de Bachillerato. En términos globales de la muestra, entre las propiedades más citadas se encuentran el carácter metálico o no metálico de los elementos, el estado de agregación y la temperatura de fusión. En 4º de E.S.O. se observa precisamente una total hegemonía de esas tres propiedades, en las que se concentran la mayoría de propiedades propuestas por el alumnado, mientras en 2º de Bachillerato se observa una mayor dispersión

de respuestas con frecuencias mucho más homogéneas, y también más altas, en términos comparativos.

Para la cuestión 6A se establecieron las siguientes cuatro categorías:

Categoría A: Cita al menos dos propiedades adecuadas

Categoría B: Cita al menos una propiedad adecuada

Categoría C: No cita una propiedad, sino otra característica

Categoría D: Respuestas en blanco

Los resultados obtenidos para cada una de las categorías anteriores se presentan en la Figura 9. Como muestran los datos, más del 50% de los estudiantes de 4º de E.S.O. y en torno al 75% de los de 2º de Bachillerato son capaces de mencionar adecuadamente dos propiedades que sirvan para diferenciar un elemento químico de otro. Por su parte, la prueba exacta ($\chi^2=7,85$; g.l.=3; $p<0,05$) sugiere que existen diferencias significativas entre los dos niveles estudiados, a favor del segundo subgrupo, lo cual revela en esta ocasión un cierto progreso de los alumnos a lo largo de sus estudios de Bachillerato.

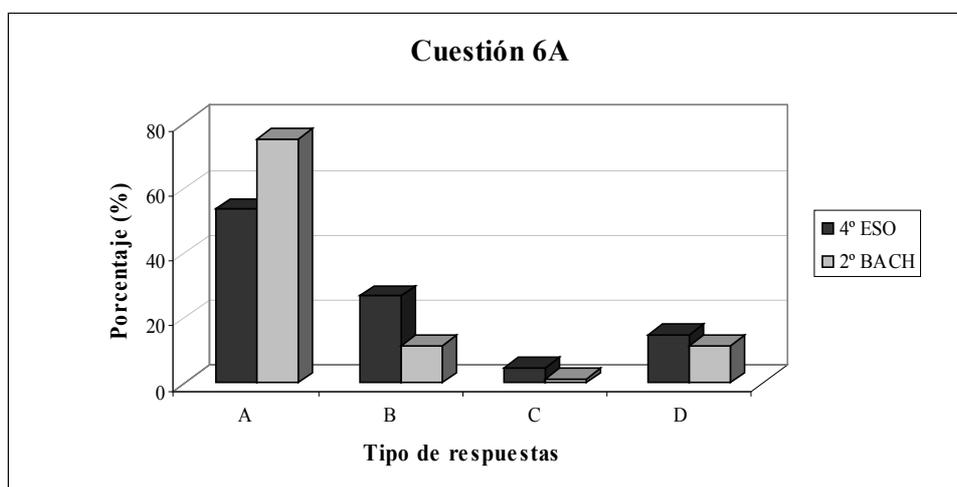


Figura 9. Porcentaje de cada tipo de respuesta para la cuestión 6A (A. Cita al menos dos propiedades adecuadas; B. Cita al menos una propiedad adecuada; C. No cita una propiedad, sino otra característica; D. Respuestas en blanco).

Respecto a la cuestión 6B las respuestas se agruparon en cinco categorías, que se describen a continuación presentando varios ejemplos de cada una de ellas:

Categoría A: Admite elementos con propiedades parecidas basándose en la configuración electrónica.

Esta categoría predomina en Bachillerato y recoge aquellas respuestas adecuadas que utilizan explicaciones que hacen referencia a la configuración electrónica del elemento.

“Sí, existen diferentes tipos de elementos según su configuración electrónica y su colocación en la Tabla Periódica depende de ello”.

“Los elementos que pertenecen a un mismo grupo (columna) tienen propiedades químicas similares. También poseen el mismo número de electrones en la última capa”.

Categoría B: Admite elementos con propiedades parecidas a partir de regularidades en la Tabla Periódica

La segunda categoría agrupa aquellas respuestas que incluyen explicaciones que hacen alusión a algún tipo de regularidad en la Tabla Periódica, tales como los elementos del mismo grupo poseen las mismas propiedades, o la clasificación en metales y no metales.

“Sí, en la Tabla Periódica están ordenados en grupos por propiedades parecidas”.

Por su parte, el alumnado de Bachillerato ofrece explicaciones más completas que muestran el conocimiento de la variación de propiedades a lo largo no sólo de los grupos sino también de los períodos.

“Los elementos que se sitúan cerca en la Tabla Periódica tienen propiedades parecidas. Si nos movemos en horizontal o en vertical en la Tabla Periódica, estas propiedades van cambiando”.

Categoría C: Admite elementos con propiedades parecidas, pero se limitan a citar ejemplos.

Esta categoría engloba las respuestas que justifican la existencia de elementos parecidos utilizando ejemplos en lugar de una explicación más detallada.

“Sí, por ejemplo los gases nobles o el plutonio y el uranio (radioactividad)”.

“Sí, por ejemplo el oro y el hierro, los dos comparten una gran cantidad de propiedades, o el aluminio y el cobre”.

Categoría D: Admite elementos con propiedades parecidas, sin explicación o con explicación inadecuada.

Se encuentran también explicaciones inadecuadas como la siguiente, que además de desconocer los isótopos del carbono, confunde este concepto con el de valencia:

“Sí, como el carbono-14 y el carbono-16 que son muy parecidos excepto en sus valencias”.

Categoría E: Respuestas en blanco.

Por último, la quinta categoría contabiliza aquellas respuestas que se presentan en blanco.

Los porcentajes obtenidos de cada uno de los tipos de respuestas descritas se resumen en la Figura 10. De los datos obtenidos destaca el gran porcentaje de estudiantes tanto de 4º de E.S.O. como de 2º de Bachillerato que no saben dar una respuesta a esta cuestión. También se acentúa la escasa proporción de estudiantes que son capaces de justificar semejanzas en las propiedades basándose en la configuración electrónica de los elementos, concretamente, del total de la muestra, sólo lo hace un alumno de 4º de E.S.O. y siete de 2º de Bachillerato. No obstante, una visión global de los resultados parece indicar una progresión en la admisión de la existencia de elementos con propiedades parecidas por parte del alumnado de Bachillerato. Esto se confirma mediante el análisis estadístico con la prueba exacta ($\chi^2 = 14,75$; g.l. = 4; $p < 0,01$) según la cual existen diferencias significativas acusadas entre ambas submuestras. A pesar de estos resultados, desde nuestro punto de vista, estas ligeras mejoras que se producen en Bachillerato se consideran insuficientes.

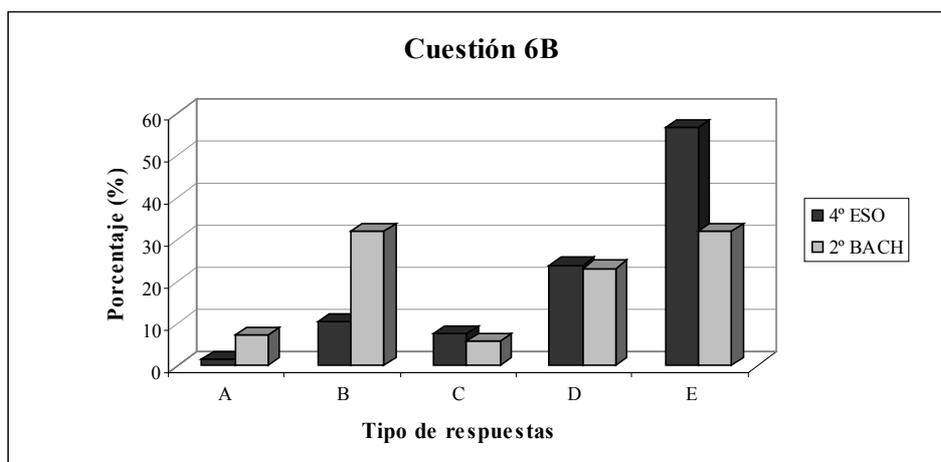


Figura 10. Porcentajes de cada tipo de respuesta de la cuestión 6B en torno a la existencia de elementos con propiedades similares (A. Admite elementos con propiedades parecidas basándose en la configuración electrónica; B. Admite elementos con propiedades parecidas a partir de regularidades en la Tabla Periódica; C. Admite elementos con propiedades parecidas, pero se limitan a citar ejemplos; D. Admite elementos con propiedades parecidas, pero sin explicación o con explicación inadecuada; E. Respuestas en blanco)

Discusión y conclusiones

Como muestra el análisis detallado de las seis cuestiones expuestas, los estudiantes participantes en este estudio presentan serias deficiencias en la comprensión de la idea de elemento químico. Estas deficiencias se mantienen como hemos visto, en gran parte, en 2º de Bachillerato, lo que sugiere la existencia de dificultades y obstáculos en torno a los tópicos estudiados y muestran un escaso eco de los estudios cursados en la comprensión de los alumnos.

A modo de síntesis, las conclusiones obtenidas en el estudio se resumen a continuación:

1. Los alumnos encuentran dificultad para entender en toda su extensión el concepto de elemento químico y su diferenciación del de compuesto. Solo alrededor de un tercio de los alumnos que terminan E.S.O. en la asignatura de Física y Química aportan una interpretación medianamente aceptable de la diferencia entre elemento y compuesto, y solo algo más de la mitad de los alumnos de Química de 2º de Bachillerato consiguen hacerlo. Esta dificultad en la construcción del concepto de elemento químico, concuerda con los resultados de investigaciones precedentes (Briggs y Holdin, 1986; Sanmartí, 1990; Caamaño, 1994; Furió y Domínguez, 2007).

2. Aparecen problemas de comprensión ligados a la ambivalencia de significados que afecta a algunos de los constructos asociados al tema. Esta fuente de dificultad se encuentra estrechamente ligada a la anterior. Concretamente, nos referimos a los dos niveles que combina, de un lado el macroscópico y de otro el submicroscópico (Johnstone, 1982). En este sentido, el estudiante tiene escasamente asumido un modelo submicroscópico de la materia y prefiere un modelo macroscópico a la hora de ofrecer espontáneamente sus explicaciones. De esta forma, encuentra dificultad en el concepto de elemento químico, que puede ser interpretado tanto desde una perspectiva macroscópica como submicroscópica. En el primer caso como sustancia simple o elemental que no puede descomponerse en otras más sencillas, y en el segundo como conjunto de átomos que tienen el mismo número atómico (Scerri, 2008). En suma, resulta complejo para los estudiantes entender la idea de elemento en todas sus dimensiones, que abarca cuanto menos la idea de elemento como sustancia elemental, como clase de átomos, y como símbolo que la representa (Linares, 2004). Aun cuando desde 4º de E.S.O. hasta 2º de Bachillerato el marco de conceptualización que impera en el currículo de nuestro país (Ministerio de Educación y Ciencia, 2007a,b) es el submicroscópico, y más concretamente el que alude a la estructura interna de los átomos, no parece que el peso concedido se traduzca suficientemente en los resultados de aprendizaje esperados.

3. Se aprecian problemas para identificar elementos químicos y para asociarlos con materiales de nuestro entorno. Así, menos de la mitad de los alumnos de 4º de E.S.O. podía identificar sin confusión los cinco elementos metálicos que se les solicitaba, mientras solo algo más de la mitad conseguía hacerlo al finalizar Química de Bachillerato. Al lado de ello, la proporción de alumnos que identificaba los cinco elementos no metálicos que se pedían fue aún menor (un tercio en 4º de E.S.O. y no llegaba a la mitad en 2º de Bachillerato). Por otro lado, un hecho que nos parece alarmante es que se produzca un retroceso a lo largo del bachillerato en la capacidad de los alumnos para identificar elementos químicos en materiales cotidianos de su entorno. A diferencia de las dos dificultades anteriores, que podríamos calificar como auténticos obstáculos epistemológicos, por la dificultad intrínseca que conlleva la comprensión de esos aspectos, en este caso las dificultades tienen un rango bien diferente, debiéndose más bien a deficiencias en la enseñanza habitual. En este sentido, la identificación de elementos químicos, y su clasificación en metales y no metales, suele convertirse en un proceso puramente memorístico que han de realizar de forma autónoma los alumnos. Mientras que la delimitación de la presencia de elementos químicos en nuestro entorno es algo que no suele

tratarse explícitamente en las clases, se le puede dar un enfoque motivador y más contextualizado (Franco-Mariscal, 2007; Demircioğlua, Demircioğlua y Çalikb, 2009).

4. Los estudiantes también encuentran dificultad para entender la esencia de lo que es un elemento desde el punto de vista de su composición nuclear, es decir existe dificultad para identificar el número atómico como seña de identidad de un elemento químico. Así, solo una parte mínima de los alumnos era capaz de justificar la universalidad de los elementos químicos en función del número atómico o del número de protones como propiedad identificativa de los elementos. Como sabemos, no pueden existir elementos distintos con el mismo número atómico, como tampoco podemos imaginar elementos químicos con un número atómico fraccionario. Aunque la mayoría de ellos (alrededor de dos tercios, tanto en E.S.O. como en Bachillerato) reconocía la universalidad de los elementos químicos, alrededor de la cuarta parte lo hacía sin ofrecer ningún tipo de argumentación lógica o con explicaciones totalmente inadecuadas. Y, al lado de ello, bastantes estaban lejos de asumir siquiera esa universalidad, lo que para nosotros demuestra lo escasamente presente que está para los estudiantes la idea del número atómico como identificador inequívoco de la naturaleza de los elementos.

5. Asimismo se observaron serias dificultades para delimitar la composición nuclear, en particular del número de neutrones, del elemento hierro, partiendo de su número atómico y de su masa atómica. Solo una mínima parte de los alumnos fueron capaces de aportar la composición nuclear del isótopo mayoritario del hierro al finalizar la E.S.O., y tan solo algo más de la cuarta parte consiguieron hacerlo al acabar el Bachillerato. Mientras tanto, alrededor del 40% de los alumnos de 4º de E.S.O. y algo más de la cuarta parte de los que finalizan Bachillerato no fue capaz de aportar la composición correcta para ninguna de las partículas elementales.

6. El alumnado presenta dificultades para delimitar y caracterizar propiedades de las sustancias y materiales, así como para diferenciar muchas de ellas entre sí. Particularmente, cabe destacar el problema que encuentran para comprender algunas propiedades atómicas, como la electronegatividad, o el verdadero sentido del concepto de valencia como ya mostraron algunos profesores e investigadores en educación química (Franco-Mariscal, 2011). El estudio de campo realizado pone de manifiesto que estos problemas son mucho más acusados en 4º de E.S.O., si bien parecen aliviarse parcialmente en 2º de Bachillerato, sobre todo aquellos referidos a la comprensión de propiedades atómicas. Consecuencia de todo ello es que, por lo general, los alumnos encuentren dificultades a la hora de otorgar un sentido a la Tabla Periódica, dado que ésta serviría para clasificar los elementos en virtud de “cosas” que no alcanzan muy bien a comprender de qué se tratan.

Aunque en conjunto consideremos que la evolución a lo largo del bachillerato ha sido escasa en el conocimiento del alumnado en este dominio, se observan diferencias importantes en las pautas de dicha evolución en función de la naturaleza de las preguntas formuladas. Así, es en las cuestiones que demandan conocimiento de tipo declarativo o aplicación directa de lo aprendido (cuestiones 1, 2, 4 y 6) en las que aparecen las mayores diferencias entre el alumnado de 4º de E.S.O. y de 2º de Bachillerato, estando presente en tres de las cuatro cuestiones, esto es en todas menos en la 2. Sin embargo, en las cuestiones que exigen un conocimiento más elaborado, como es el caso de la cuestión 3 que demanda una aplicación con inferencias en contextos novedosos, o de la cuestión 5 que solicita relacionar lo aprendido con la vida diaria, no se aprecia evolución. Antes al contrario, se detecta un cierto retroceso en la segunda de las cuestiones citadas, dado que los resultados obtenidos por el alumnado de 4º de E.S.O. fueron incluso mejores que los manifestados al finalizar el bachillerato.

Aunque es posible que una parte importante de esta escasa evolución sea el fruto de obstáculos propios del ámbito cognitivo (presencia de esquemas alternativos en los alumnos

y/o la aparición de desfases entre las demandas cognitivas y el grado de pensamiento formal disponible), también lo es que una parte de ellas tengan su origen en la manera mediante la que se enseñan habitualmente, como ya se ha apuntado al principio. En este sentido, pueden ser factores negativos que condicionan la enseñanza habitual de estos temas, el que se focalicen desde perspectivas centradas esencialmente en aprendizajes de tipo declarativo (definiciones, enunciados de leyes y principios, repetición literal de lo aprendido...) o en la aplicación directa de las ideas adquiridas (ejercicios de aplicación directa). Mientras tanto, es escaso el énfasis que se pone en la realización de inferencias en contextos novedosos, en la vinculación de lo aprendido con la vida diaria, o en ofrecer una perspectiva más cercana a la historia y naturaleza de la ciencia. Por otra parte, además, puede ser también objeto de crítica el salto prematuro que se produce en el currículo español desde una química de corte fenomenológico, con énfasis en lo macroscópico y en enfoques descriptivos, que permita familiarizar al alumnado con las realidades químicas que luego se van a estudiar, a otra más teórica, formal, deductiva y basada en la estructura interna de los átomos, y que se repite reiteradamente con un enfoque muy similar desde 4º de E.S.O. hasta 2º de Bachillerato.

Si ello es así, es decir si, en efecto, una parte importante de los problemas de aprendizaje en el alumnado ante esta temática provienen del tipo de enseñanza recibida, ello arrojaría un mensaje esperanzador. De esta forma, algunas de esas dificultades detectadas serían susceptibles de ser superadas mediante la inclusión de cambios importantes en los diseños de enseñanza. De ahí, nuestro interés por promover estrategias y recursos especialmente comprometidos con la mejora del aprendizaje de estos temas, particularmente mediante el desarrollo de actitudes al estudio de estos tópicos, ante la esperanza de que ello podría redundar en la superación de una parte de las dificultades delimitadas.

Referencias bibliográficas

- Benarroch, A. (1998). *Las explicaciones de los estudiantes sobre las manifestaciones corpusculares de la materia*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.
- Briggs, H. y Holding, B. (1986). Aspects of Secondary students' understanding of elementary ideas in chemistry: Summary report. *Children's Learning in Science Project*. Centre for Studies in Science and Mathematics Education: University of Leeds.
- Caamaño, A. (1994). *Concepciones de los alumnos sobre la composición y la estructura de la materia y sobre el cambio químico. Comprensión de las formas simbólicas de representación*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.
- Demircioğlu, H.; Demircioğlu, G. y Çalikb, M. (2009). Investigating the effectiveness of storylines embedded within a context-based approach: the case for the Periodic Table. *Chemistry Education Research and Practice*, 10, 241-249.
- Esteban, S. (2009). *La historia del Sistema Periódico*. Madrid: Cuadernos de la UNED.
- Franco-Mariscal, A.J. (2007). La búsqueda de los elementos en Secundaria. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 51, 98-105.
- Franco-Mariscal, A.J. (2011). *El juego educativo como recurso didáctico en la enseñanza de la clasificación periódica de los elementos químicos en Educación Secundaria*. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz.
- Furió, C. (2004). Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Educación química*, 11(3), 300-308.

- Furió, C. y Domínguez, M.C. (2007). Deficiencias en la enseñanza habitual de los conceptos macroscópicos de sustancia y de cambio químico. *Journal of Science Education*, 8(2), 84-92.
- Gómez-Crespo, M.A. y Pozo, J.I. (2004). Relationships between everyday knowledge and scientific knowledge: understanding how matter changes. *International Journal of Science Education*, 26 (11), 1325-1343.
- Gómez-Crespo, M.A.; Pozo, J.I. y Gutiérrez, M.S. (2004). Enseñando a comprender la naturaleza de la materia: el diálogo entre la química y nuestros sentidos. *Educación Química*, 15 (3), 198-209.
- Johnstone, A.H. (1982): "Macro and micro chemistry". *School Science Review*, 64, 295-305.
- Linares, R. (2004). *Elemento, átomo y sustancia simple. Una reflexión a partir de la enseñanza de la Tabla Periódica en los cursos generales de Química*. Tesis Doctoral. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Linares, R. e Izquierdo, M. (2007). La Tabla Periódica en el *Journal of Chemical Education* a través del siglo XX. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 21, 7-23.
- Llorens, J.A. (1987). *Propuesta y aplicación de una metodología para el análisis de la adquisición de conceptos en la introducción a la teoría atómico-molecular: percepción de los hechos experimentales, sus representaciones y el uso del lenguaje en alumnos de formación profesional y bachillerato*. Tesis doctoral. Universidad de Valencia.
- McNaught, A.D. y Wilkinson, A. (1997). *IUPAC. Compendium of Chemical Terminology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Ministerio de Educación y Ciencia (2007a). *Orden ECI/2220/2007, de 12 de julio, por la que se establece el currículo y se regula la ordenación de la Educación Secundaria Obligatoria*. (BOE núm. 174, 21 de julio de 2007).
- Ministerio de Educación y Ciencia (2007b). *Real Decreto 1467/2007, de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas*. (BOE núm. 266, 6 de noviembre de 2007).
- Niaz, M. (2005). ¿Por qué los libros de química general no cambian y siguen una 'retórica de conclusiones'? *Educación Química*, 16(3), 410-415.
- Novick, S. y Nussbaum, J. (1981). Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: A Cross-Age Study, *Science Education*, 65 (2), 187-196.
- Pozo, J.I. y Gómez-Crespo, M.A. (1998). *Aprender y enseñar Química*. Madrid: Morata.
- Sanmartí, N. (1990). *Estudio sobre las dificultades de los estudiantes en la comprensión de la diferenciación entre los conceptos de mezcla y compuesto*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Scerri, E. (2007). *The Periodic Table. Its Story and Its Significance*. New York: Oxford University Press.
- Scerri, E. (2008). The Past and Future of the Periodic Table. *American Scientist* 96, 52-58.
- Scerri, E. (2011). *The Periodic Table: A Very Short Introduction*. New York: Oxford University Press.
- Schmidt, H.J.; Baumgärtner, T. y Eybe, H. (2003). Changing Ideas about the Periodic Table of Elements and Students' Alternative Concepts of Isotopes and Allotropes. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(3), 257-277.

Anexo. Contenidos relacionados con la noción de elemento químico en el Sistema Educativo español (Ministerio de Educación y Ciencia, 2007a,b)

Asignatura/Curso	Carácter	Edad	Descriptores de contenidos
Física y Química 3º E.S.O. (Ministerio de Educación y Ciencia, 2007a)	Obligatorio a toda la población de estudiantes	14-15 años	<p><i>Los materiales y la hipótesis atómico-molecular</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Sustancias simples y compuestas. Distinción entre mezcla y sustancia compuesta. Procedimientos experimentales para indagar si una sustancia es compuesta. La hipótesis atómico-molecular para explicar la diversidad de materiales (mezclas, sustancias simples y compuestas): introducción del concepto de elemento químico. Representación simbólica de los elementos y de las sustancias. Abundancia de los elementos en la naturaleza. Importancia de alguno de ellos en el organismo humano. <p><i>Estructura del átomo</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Problemas que condujeron a concebir la existencia de una estructura interna en los átomos. Justificación y descripción de los primeros modelos atómicos. Modelos atómicos de Thomson y de Rutherford. Caracterización de los isótopos. Importancia de las aplicaciones de las sustancias radiactivas y valoración de las repercusiones de su uso para los seres vivos y el medioambiente.
Física y Química 4º E.S.O. (Ministerio de Educación y Ciencia, 2007a)	Optativo	15-16 años	<p><i>Estructura del átomo y enlaces químicos</i></p> <ul style="list-style-type: none"> La estructura del átomo. El Sistema Periódico de los elementos químicos. Clasificación de las sustancias según sus propiedades. Estudio experimental. Importancia de la ordenación periódica. Estudio experimental e interpretación de algunas de las propiedades de las sustancias: estado físico a temperatura ambiente, conductividad y solubilidad.
Física y Química 1º Bachillerato (Ministerio de Educación y Ciencia, 2007b)	Obligatorio para la modalidad de Ciencias y Tecnología	16-17 años	<p><i>Teoría atómico molecular de la materia</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Revisión y profundización de la teoría atómica de Dalton. Interpretación de las leyes básicas asociadas a su establecimiento. Masas atómicas y moleculares. La cantidad de sustancia y su unidad, el mol. Ecuación de estado de los gases ideales. Determinación de fórmulas empíricas y moleculares. Preparación de disoluciones de concentración determinada: uso de la concentración en cantidad de sustancia. <p><i>El átomo y sus enlaces</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Primeros modelos atómicos: Thomson y Rutherford. Distribución electrónica en niveles energéticos. Los espectros y el modelo atómico de Bohr. Introducción cualitativa al modelo cuántico. Abundancia e importancia de los elementos en la naturaleza. El Sistema Periódico. Enlaces iónico, covalente, metálico e intermoleculares. Propiedades de las sustancias. Formulación y nomenclatura de los compuestos inorgánicos, siguiendo las normas de la IUPAC".
Química 2º Bachillerato (Ministerio de Educación y Ciencia, 2007b)	Optativo para la modalidad de Ciencias y Tecnología	17-18 años	<p><i>Estructura atómica y clasificación periódica de los elementos</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Del átomo de Bohr al modelo cuántico. Importancia de la mecánica cuántica en el desarrollo de la química. Evolución histórica de la ordenación periódica de los elementos. Estructura electrónica y periodicidad. Tendencias periódicas en las propiedades de los elementos.