

¿Sustancias simples y/o elementos? Usos del término elemento químico en los libros de texto

Bullejos, J.

*Instituto Español de Tetuán.
Marruecos*

De Manuel, E.

*Dpto. Didáctica Ciencias Experimentales.
E.U. Formación Profesorado.
Campus Cartuja. Granada*

Furió, C.

*Dpto. Didàctica Ciències
Experimental i Socials.
Universitat de València.
València*

1. Planteamiento del problema

Entre los profesores de Secundaria es bien conocida la confusión que suele existir en los estudiantes acerca de las nociones de compuesto químico y mezcla de sustancias y, en particular, se constata que identifican una combinación química con una mezcla de las sustancias simples/elementos que las constituyen (Hierrezuelo y Montero, 1989; Bullejos y Furió, 1989). Desde el punto de vista constructivista puede argumentarse que estos resultados discentes son debidos a defectos metodológicos en el planteamiento de una enseñanza como transmisión de los conocimientos científicos elaborados, ya que no se permite que el propio estudiante se plantee en clase situaciones problemáticas. También se ha

aventurado que el origen de estos obstáculos está en la polisemia con que algunos términos como sustancia o elemento son utilizados atendiendo al contexto (Llorens, 1991). Conviene, a este respecto, clarificar que esta ambigüedad polisémica es bien manejada por los estudiantes en el 'horizonte' de su vida corriente pero no en el 'horizonte' de la Química daltoniana donde la enseñanza está tratando de 'sumergirlos' (Eger 1992). De ahí que el profesor deba cuidar in extremis sus mensajes escritos con el fin de evitar aquello que pueda distorsionar los significados precisos que se asignan a conceptos científicos como el de 'elemento químico' e incidir negativamente en su aprendizaje. Para ello debería tenerse siempre en cuenta el carácter evolutivo de estos conceptos y aceptar que su significado

es dependiente del contexto de indagación en el que se construye y utiliza (Azcona y Furió, 1993).

En este sentido, el trabajo que se presenta trata de analizar los usos que se hacen actualmente del término 'elemento químico' en los libros de texto de Química con el fin de ver su adecuación tanto con el contexto teórico de la Química clásica como con respecto al contexto didáctico en el que se pretende conseguir un aprendizaje significativo. Así mismo, se hacen propuestas para un uso más adecuado de este término que pueda coadyuvar a un mejor aprendizaje de la Química en Secundaria.

2. Emisión de hipótesis y fundamentación

Partiendo de un análisis histórico de los significados ligados a los términos elemento, sustancia simple y compuesto, y de los problemas epistemológicos que su aprendizaje plantea a los estudiantes, tratamos de fundamentar cuáles serían los usos adecuados del término elemento en el contexto de la Química daltoniana que se pretende enseñar a los estudiantes, así como la secuenciación de contenidos adecuada.

El objetivo esencial de la parte de la Física de Aristóteles (*"De generatione et de corruptione"*) es explicar cualitativamente y de forma unitaria la existencia de la gran diversidad de cambios químicos en la Naturaleza por combinación y,

por tanto, *conservación* (lógicas) de unos pocos elementos (ideales, no reales) que serían los últimos componentes en que se resolverían en abstracto todos los materiales corpóreos existentes.

El surgimiento del empirismo, en el siglo XVII, pone en tela de juicio las connotaciones aristotélico-escolásticas al término elemento, lo "materializa" y elimina las características metafísicas que aquellas les asignaban. Es cuando el término elemento es sustituido por el de "cuerpo simple" (véase "El químico escéptico" de R. Boyle). Disminuye el carácter especulativo del concepto y cambia la dirección de los programas de investigación, orientándose hacia una definición operacional de 'sustancia química' definida por el conjunto de sus propiedades características y la preocupación continuada por su descomposición o no en cuerpos simples' (la no transmutabilidad de estos ya había sido mostrada en los fracasos de los alquimistas).

La concepción de elemento de Boyle-Lavoisier, como antes la aristotélica, lleva implícita un problema epistemológico no siempre resuelto satisfactoriamente. En efecto, los elementos son sustancias simples, con unas propiedades determinadas, que constituyen los compuestos, y en éstos no se reconocen las propiedades de sus elementos/sustancias-simples componentes. Pero, sin embargo, estos elementos/sustancias-simples pueden ser recuperados a partir del compuesto, es evidente que algo

permanece a través de los cambios observados. Entonces ¿qué es lo que permanece: las sustancias simples/elementos? Si es así ¿por qué no se reconocen entonces sus propiedades en la combinación? Como señala H. Pfund (1981; citado en Llorens, 1991) la respuesta aristotélica a este problema es que las sustancias-simples/elementos continúan existiendo en la combinación, pero dado que las propiedades de ésta no guardan ninguna relación con las de los elementos/sustancias-simples constituyentes, hay que admitir que éstos cambian sus propiedades al combinarse y adquieren nuevas propiedades que poseían en potencia. Esta idea bajo distintas formas pervivió hasta el establecimiento de la teoría atómica de Dalton.

Más tarde, en el nacimiento de la Química como Ciencia Moderna, se recupera de nuevo el término elemento en el marco referencias de la teoría atómica de Dalton como conjunto de átomos iguales (en masa y en volumen) que se conservan en el cambio químico, sin perder de vista que desde el punto de vista empírico cambian las sustancias. Con este concepto de elemento se explica la recuperación de sustancias simples a partir de los compuestos y viceversa, por qué desaparecen las sustancias simples cuando a partir de ellas se obtiene un compuesto.

En 1908, el químico francés Georges Urbain, propone la distinción formal entre cuerpo simple y elemento químico (Enciclopedia Larousse, 1981).

De acuerdo con este breve análisis, el uso del término elemento, en el contexto de la Química daltoniana que se enseña, debería estar restringido al ámbito de las explicaciones atomistas. Por otra parte, deberían definirse previamente, a nivel empírico, los conceptos de sustancia-mezcla y sustancia simple-compuesto. Por el contrario, un desconocimiento histórico y filosófico de la formación y evolución de las construcciones científicas y, en el fondo, una visión aproblemática, acumulativa y estática de la naturaleza de la ciencia, junto con la escasa importancia que se concede a las concepciones de los estudiantes y los problemas epistemológicos a que se enfrentan durante el aprendizaje, se traducirá en un uso y secuencia didáctica inapropiados de los términos a que se hace referencia.

En consecuencia, con lo dicho anteriormente, este trabajo trata de contrastar la siguiente hipótesis:

“La mayoría de los textos de Química, al introducir la teoría atómico-molecular de la materia, lo hacen de una manera aproblemática, ahistórica y descontextualizada. En consecuencia, no diferenciarán entre el marco referencial empírico (donde se deben definir previamente los conceptos de sustancia-mezcla y sustancia simple-sustancia compuesta) y el referencial atomista que servirá de teoría interpretativa”.

Como consecuencias contrastables de esta hipótesis se pueden citar entre otras:

1. La omisión en los textos del concepto empírico de sustancia y su diferenciación del de mezcla, con lo cual falta un prerrequisito (en términos de aprendizaje de Gagné) que permita la comprensión de conceptos subordinados tales como las nociones de sustancia simple, compuesto y reacción química, en el marco referencial empírico.
2. La no diferenciación en el contexto de la teoría atómica de las nociones de sustancia y mezcla.
3. La identificación del concepto empírico de sustancia simple y el atomista de elemento químico.
4. La extrapolación de las propiedades macroscópicas de las sustancias a sus átomos o moléculas constituyentes.
5. No se explicitará cuál es el problema general que trata de resolver el concepto de elemento: ¿Qué cambia y qué se conserva en los cambios químicos?
6. No se harán comentarios históricos sobre la evolución del concepto de elemento o si se hacen estos serán anecdóticos o problemáticos.
7. La omisión en los textos de las definiciones operacionales de sustancia simple y sustancia compuesto y su definición sólo en el contexto de la teoría atómica.

3. Diseños Experimentales

3.1. Muestra

Se ha seleccionado una muestra de 18 libros de texto del ciclo superior de EGB, 37 libros de 2º y 3º de BUP, 11 de

COU y 9 de Química General de Universidad.

3.2. Protocolo para el análisis de los textos

Se ha elaborado un protocolo con 15 items que indican otros tantos contenidos cuya existencia en los libros de texto se comprueba. Los items y sus criterios de valoración dicotómica se exponen en el Anexo I.

Para establecer la fiabilidad del protocolo se ha aplicado éste independientemente por dos de los autores de este trabajo en una muestra de 30 libros de texto de los diferentes niveles educativos. La discrepancia entre la valoración de los dos investigadores para cada uno de los items ha sido en todos los casos inferior al 6%, lo que prueba una aceptable fiabilidad del protocolo.

4. Resultados

En la figura 1 se muestra el % de libros de los 4 niveles educativos analizados (EGB, BUP, COU y Universidad) que no expresan los contenidos seleccionados en el protocolo o expresan contenidos erróneos.

Puesto que las editoriales suelen distribuir los contenidos de química implicados en este estudio entre los tres cursos del ciclo superior de EGB y, dentro del bachillerato, entre los cursos 212 y 32 de BUP, se ha estimado el % de editoriales que no expresan los contenidos seleccionados en ninguno de los libros

correspondientes a los distintos cursos del ciclo superior de EGB o bachillerato, o expresan contenidos erróneos en al

menos uno de los cursos. Estos resultados se exponen en la figura 2.

Fig. 1. Contenidos de química en libros de texto enseñanza secundaria y universidad

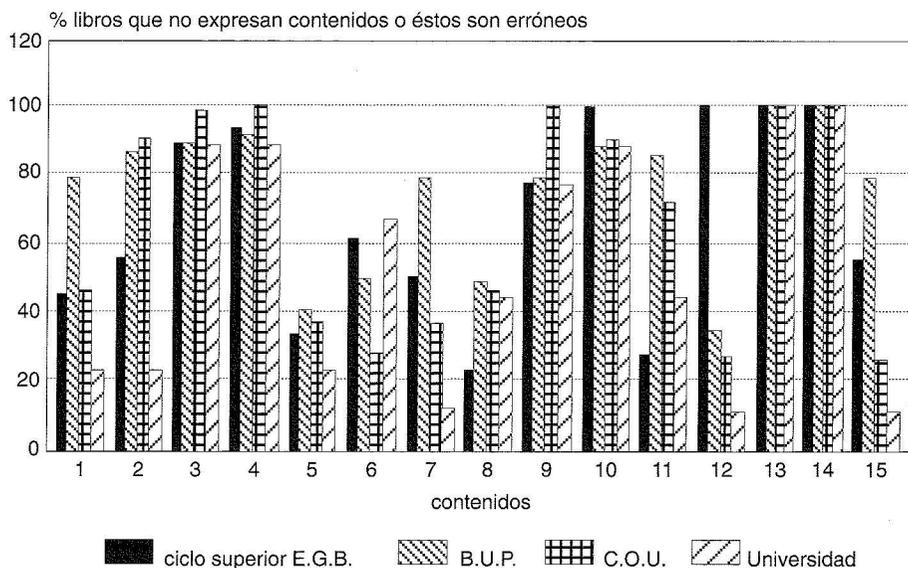
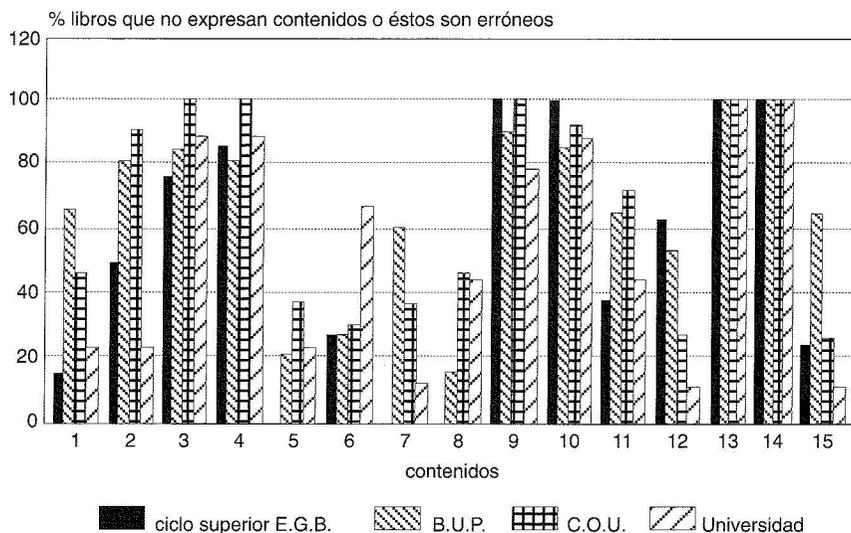


Fig. 2. Contenidos de química en libros de texto enseñanza secundaria y universidad



Agrupados por editoriales en E.G.B. y B.U.P.

5. *Discusión de los resultados*

5.1. *Concepto empírico de sustancia (item 1)*

Un 57,1% de los libros de EGB no definen de forma procedimental el concepto de sustancia. En cambio sólo un 12,5% de editoriales no explicitan este concepto en ninguno de los libros correspondientes a los tres cursos del ciclo superior de EGB.

En BUP el porcentaje de libros que no explicitan este contenido es del 78%, siendo este porcentaje mayor en 3º que en 2º. El % de editoriales cuyos libros no explicitan este contenido en ninguno de los dos cursos es del 70% lo que nos parece muy elevado, pues aunque estos contenidos hayan sido tratados en el ciclo superior de la EGB, tal como muestran los elevados porcentajes de libros de este nivel que explicitan este contenido, creemos que es de suficiente importancia para la construcción adecuada de los aprendizajes que se persiguen en el bachillerato, volver a explicitar el concepto empírico de sustancia en estos niveles.

En COU el 45% de los libros no explicitan este contenido, mientras que en la Química General de Universidad sólo el 22% de los textos no lo expresan.

5.2. *Diferencia empírica entre mezcla y sustancia (item 2)*

El 56% de los libros del ciclo superior de EGB no tratan la diferenciación

empírica entre las nociones de mezcla y sustancia, y en el conjunto de los tres cursos que abarca el ciclo, el 50% de las propuestas curriculares investigadas no explicitan este contenido en ninguno de los cursos.

En los libros de BUP el porcentaje negativo es del 87% y el 80% de las propuestas editoriales no consideran este contenido en ninguno de los libros de 2º y 3º de BUP.

En COU el porcentaje negativo es aún más alto, el 91%, mientras que en los textos universitarios el 78% de ellos explicitan la diferencia empírica entre mezcla y sustancia y sólo un 22% no lo hacen.

5.3. *Definiciones atomistas de sustancia y mezcla (items 3 y 4)*

Estos contenidos apenas son tratados en los libros de EGB. Sólo el 11% de los libros consultados dan una definición atomista de sustancia y el 6% de mezcla, mientras que en el conjunto de los 3 cursos, el 75% y el 88% respectivamente de las editoriales no tratan estos conceptos en ningún curso del ciclo superior.

Mayor es aún la ausencia de estos contenidos en los libros de BUP, pues el 90% de los libros y el 80% de las editoriales no los tratan en ninguno de los cursos de este nivel.

En COU ningún libro de los consultados explicita el concepto atomista de sustancia y mezcla, y en los textos universitarios sólo hemos encontrado un libro que hiciera alusión a ellos.

5.4. Concepto empírico de reacción química (item 5).

En EGB sólo el 33% de los libros tratan adecuadamente este concepto, mientras que otro 33% lo hace de una manera deficitario y el otro 33% ni lo mencionan. Ahora bien, todas las propuestas curriculares tratan el concepto en alguno de los tres cursos del ciclo, aunque sólo el 62,5% lo haga de una manera adecuada.

En BUP es ligeramente superior el porcentaje de libros que tratan el concepto (59%) aunque sólo el 16% lo haga adecuadamente. No obstante, todavía el 20% de las editoriales no mencionan este contenido en nin uno de los libros correspondientes a 2º y 3º de BUP.

En COU los porcentajes son similares a BUP, aunque el 36% de los libros no explicitan este contenido. En los textos universitarios el porcentaje de libros que tratan adecuadamente el concepto es del 44%, el 33% lo mencionan de una manera poco explícita y el 22% no lo mencionan.

5.5. Concepción atomista de reacción química (item 6).

Este concepto fundamental en la teoría atómico-molecular no es tratado explícitamente por el 61% de los libros de EGB y un 17% de libros sólo contienen algunos dibujos que podrían ilustrar un proceso químico como recombinación de átomos, pero sin hacer ninguna alusión escrita a este concepto. Por editoriales, el 25% de las mismas no tratan el con-

cepto en ningún libro del ciclo y otro 38% sólo contienen en algún libro dibujos que hagan alusión a este contenido.

En BUP el 48% de los libros no tratan el contenido y el 24% sólo contienen algún dibujo ilustrativo. Por editoriales es mayor el porcentaje de aquellas que tratan adecuadamente el concepto en alguno de los libros de 2º o 3º (50%) aunque el 25% no lo haga en ningún curso y el otro 25% sólo contenga algún dibujo.

En COU, sólo el 27,3 de libros tratan adecuadamente el concepto, el 46% incluyen algún dibujo que haría alusión al mismo y el 27% no lo tratan de ninguna manera.

En cuanto a los textos de Universidad, el 67% no explicita de ninguna manera el concepto.

5.6. Definición empírica de sustancia simple y compuesto (item 7).

El 50% de los textos de EGB no definen empíricamente estas nociones, aunque el 75% de las editoriales lo tratan en alguno de los cursos del ciclo superior.

En BUP el porcentaje negativo es del 78% (por editoriales el 60% de las mismas no definen los conceptos en ningún libro del bachillerato), en COU es del 36% y en Universidad sólo del 11%.

5.7. Definición atomista de sustancia simple y compuesto (item 8).

Este es quizás uno de los contenidos que más suelen tratar los libros de tex-

to, pues todos ellos suelen mencionar las hipótesis de Dalton en las que se definen atomísticamente sustancia simple y compuesto. Todas las propuestas curriculares de EGB la consideran en alguno de los tres cursos del ciclo y en BUP el 85% de las editoriales, aunque hay que tener en cuenta que el 70% de los libros de 3º de BUP no tratan este contenido, ni el 46% de los de COU ni el 45% de los de Universidad. El que este contenido sea tan escasamente considerado en los textos de los cursos superiores seguramente se debe a que se considera suficientemente tratado en los cursos anteriores, aunque los resultados de la investigación didáctica (Furió, Ballejos y De Manuel, 1993) muestran que todavía los alumnos que comienzan COU no diferencian adecuadamente a nivel atomístico entre sustancia simple y sustancia compuesto lo que, a nuestro juicio, hace necesario que esta diferenciación sea tratada en 3º de BUP y en COU.

5.8. Identificación del concepto empírico de sustancia simple y el atomista de elemento (items 9 y 10).

En este aspecto -clave desde nuestro punto de vista para comprender la diferencia entre un compuesto y una mezcla de sustancias simples- es donde se muestra más claramente que no se diferencia entre el marco referencial empírico y el atomista en la mayoría de los libros de texto de todos los niveles. El 78% de los libros de EGB, el 76% de los de BUP, el 100% de los de COU y el 67% de los de Universidad, utilizan el

término elemento como sinónimo de sustancia simple al mismo tiempo que como clase de átomos, dando lugar, como argumentábamos anteriormente, a confundir una sustancia compuesto (de varios elementos/clases de átomos) con una mezcla de sustancias simples/elementos.

Como exponente de lo que acabamos decir se muestran a continuación (Cuadro I) los contenidos explicitados por algunos libros de texto, que consideramos representativos de la muestra analizada y que muestran la identificación entre el concepto empírico de sustancia simple y el atomista de elemento.

Por otra parte, el 100% de los libros de EGB, el 94% de los de BUP, el 91% de los de COU y el 89% de los de Universidad, no hacen ver las limitaciones de la identificación entre sustancia simple y elemento, lo que confirma que esta identificación no es meramente lingüística y responde más bien a una indiferenciación entre el marco empírico y el atomista que le sirve de teoría interpretativa.

5.9. Diferenciación entre compuesto y mezcla de sustancias simples (items 11, 13 y 14).

La confusión que suelen mostrar los estudiantes entre un compuesto y una mezcla de sustancias simples/elementos es multicausal lo que implica que su diferenciación deba abordarse desde diversos puntos de vista. En este sentido la explicitación, a nivel empírico, de las diferencias entre un compuesto y las sus-

CUADRO I. EJEMPLOS DE CONTENIDOS EN LIBROS DE TEXTO QUE UTILIZAN ELEMENTO COMO SUSTANCIA Y COMO CLASE DE ATOMOS

Nivel y Curso	Contenidos del libro	Significado del término elemento
7º E.G.B.	<i>La mayor parte de las sustancias puras son compuestas (en química se llaman compuestos), es decir pueden llegar a descomponerse en otras sustancias puras llamadas elementos químicos o simplemente elementos.</i>	Sustancia con un conjunto de propiedades características.
	<i>Un compuesto químico es una sustancia pura formada por dos o más elementos que aparecen siempre en una proporción fija, al contrario que en las mezclas y disoluciones. Ejemplos: El agua pura es un compuesto químico, ya que se puede llegar a descomponer en dos elementos: oxígeno e hidrógeno. El cloruro de sodio es un compuesto porque se puede descomponer en dos elementos llamados sodio y cloro.</i>	En la primera parte del párrafo el término elemento es usado como sinónimo de clase de átomos, mientras que en los ejemplos que se ponen a continuación es utilizado como sinónimo de sustancia. Esta confusión entre ambos niveles de interpretación científica puede dar origen a que los estudiantes persistan en su idea de que un compuesto es una mezcla de sustancias elemento.
2º B.U.P.	<i>Actualmente se conocen 106 sustancias simples o elementos químicos... Atendiendo a sus propiedades se clasifican en: -Metales, si son sólidos a temperatura ambiente (excepto el mercurio), si son conductores del calor y electricidad... -No metales, si son gases, líquidos... no conducen el calor y la electricidad.</i>	Sustancia que posee un conjunto de propiedades características.
	<i>Los óxidos son compuestos formados por un elemento cualquiera y oxígeno. Si el elemento que se combina con el oxígeno es un metal, el compuesto se denomina óxido metálico.</i>	Clase de átomos. Sin embargo al definir anteriormente un elemento como una sustancia y además ejemplificar los metales como elementos/sustancias, ahora cabe pensar que un óxido metálico es un sistema constituido por dos sustancias/elementos, el metal y el oxígeno.
3º B.U.P.	<i>Existe una dependencia total entre la estructura electrónica de un elemento y su posición en el sistema periódico. La electronegatividad mide la capacidad de un elemento para atraer hacia sí los electrones que lo enlazan con otro elemento.</i>	Clase de átomos.
	<i>Algunas de las propiedades físicas de los elementos también varían regularmente con el número atómico. El punto de fusión, el punto de ebullición y la conductividad sufren variaciones regulares, al igual que la densidad.</i>	Sustancia con un conjunto de propiedades características.
	<i>Lavoisier, Proust y Ritcher... comprobaron que la proporción en masa de los elementos químicos presentes en cada compuesto es invariable.</i>	Clase de átomos. Sin embargo los alumnos pueden estar pensando en las masas de las sustancias/elementos que forman el compuesto.
Química C.O.U.	<i>Los elementos son sustancias puras que no pueden descomponerse en otras más sencillas mediante procedimientos químicos normales: hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, plata, hierro, cobre, etc. son elementos ya que no se pueden descomponer en otras sustancias más sencillas.</i>	Sustancia simple que posee un conjunto de propiedades características.
	<i>Los compuestos son sustancias puras formadas por dos o más elementos, que pueden descomponerse en éstos por métodos químicos.</i>	En la primera frase como clase de átomos. En la segunda frase como sustancia. Al decir que el compuesto está formado por dos o más elementos y haber definido anteriormente éstos como sustancias, induce a pensar que el compuesto está formado por dos o más sustancias (elementos) y podría tratarse de una mezcla.
	<i>La molécula de ácido sulfúrico, H₂SO₄, está formada por tres elementos distintos: hidrógeno, azufre y oxígeno, pero además la fórmula indica la relación en que intervienen cada uno de los átomos en la molécula.</i>	Clase de átomos, pero al haber asimilado antes elemento a sustancia, induce a pensar que en el ácido sulfúrico están las tres sustancias: hidrógeno, azufre y oxígeno.
Química General Universidad	<i>Las sustancias puras pueden ser elementos o compuestos. Un elemento es una sustancia pura que no puede convertirse en una forma de materia más simple por ninguna reacción química. El hidrógeno y el oxígeno son elementos; también lo son el hierro y el azufre.</i>	Sustancia que posee un conjunto de propiedades características.
	<i>Los compuestos binarios son compuestos que contienen dos elementos. Las proporciones de los dos elementos pueden variar... Un compuesto es una sustancia de composición definida en la que están combinados químicamente dos o más elementos.</i>	Clase de átomos. La anterior identificación entre elemento y sustancia da pie a pensar que el compuesto es un sistema constituido por dos o más sustancias.

tancias simples que pueden obtenerse a partir de él o de las que puede obtenerse por síntesis (item 11 del protocolo), cobra relevancia didáctica. Una de estas referencias empíricas que permiten solventar la aludida confusión, es la comprobación de que las propiedades del compuesto son diferentes de las de las sustancias simples. Pues bien, el 72% de los libros de EGB, el 87% de los de BUP, el 73% de los de COU y el 44% de los de Universidad, no hacen ninguna referencia a este hecho. No obstante, hay que considerar que al menos el 62,5% de las editoriales lo mencionan en alguno de los libros del ciclo superior de EGB y el 50% en alguno de los libros de los dos cursos de bachillerato.

En cuanto al planteamiento y tratamiento didáctico del problema epistemológico de la no conservación de las propiedades de las sustancias simples en el compuesto (item 13 del protocolo), que consideramos Importante para ayudar a los estudiantes a superar la identificación entre compuesto y mezcla de sustancias simples, sólo uno de los 75 libros consultados, de todos los niveles, contiene alguna referencia-al mismo.

Por otra parte, teniendo en cuenta que las mismas dificultades que se dan en los estudiantes para construir diferenciadamente los conceptos de sustancia simple y elemento, se han dado en la historia de la ciencia, sería útil desde un punto de vista didáctico, hacer comentarios históricos sobre la evolución del concepto de elemento en el contexto de las controversias que se

dieron y los problemas que se trataban de resolver (item 14 del protocolo). En este sentido, tampoco ninguno de los 75 libros analizados contiene comentarios que no sean meramente anecdóticos y con referencia exclusiva a los personajes que intervienen.

5.10. Diferenciación entre las propiedades macroscópicas de los sistemas y sus partículas constituyentes (item 12).

La confusión entre el referente empírico y el atomista puede llegar hasta el extremo de identificar las propiedades macroscópicas de una sustancia con los átomos/moléculas de las que se supone están constituidas (item 12 del protocolo). Esta identificación, que suele darse entre los escolares (Hierrezuelo y Montero, 1991), también se manifiesta en algunos libros de texto (Llorens, 1991), aunque es obvio que en poca extensión. Concretamente el 33% de los libros de EGB, el 32% de los de BUP, el 27% de los de COU y el 11% de los de Universidad, manifiestan explícitamente que *“la molécula es la parte más pequeña de una sustancia que conserva las propiedades de la misma”* o que *“el átomo es la parte más pequeña de una sustancia simple (o elemental) que conserva las propiedades de esta”*. La situación puede considerarse más grave si se tiene en cuenta que el 63% de las editoriales contienen esta identificación en al menos uno de los tres libros del ciclo superior de EGB y el 50% en al menos uno de los dos libros de BUP.

5.11. Introducción contextualizada de los conceptos de sustancia simple y compuesto (item 15).

Uno de los aspectos que pueden tener incidencia en el aprendizaje significativo de los conceptos científicos es la introducción contextualizada de los mismos, respondiendo a problemas que se plantean y a los que se trata de dar solución, de acuerdo con la visión actual de la naturaleza de la ciencia. En el caso concreto de los conceptos que nos ocupan, deberían definirse previamente a nivel empírico los conceptos de sustancia simple-compuesto. En este sentido se ha incluido el ítem 15 en el protocolo para el análisis de los textos. Este análisis muestra que un 56% de los libros de EGB y el 97% de los de BUP o no introducen, previamente al concepto atomista de sustancia simple y compuesto, la definición empírica, o lo hacen a posteriori. En los libros de COU y de Universidad, la presentación de los contenidos es más contextualizada, aunque todavía el 36% de los libros de COU y el 11% de los de Universidad lo hacen descontextualizadamente.

6. Conclusiones

Los resultados parecen confirmar la hipótesis que se trataba de contrastar en este trabajo en cuanto que la mayoría de los textos no diferencian adecuadamente entre el marco referencias empírico y el atomista que le sirve de teoría interpretativa.

7. Una propuesta didáctica para el aprendizaje de la teoría atómica de la materia

De acuerdo con lo expuesto en la fundamentación de la hipótesis, hacemos una propuesta de secuenciación didáctica para el aprendizaje inicial de la teoría atómica en la enseñanza secundaria que resumimos a continuación:

En primer lugar se trataría de introducir la noción experimental de sustancia como sistema que posee un conjunto de propiedades características, tales como P.F., P.E., densidad, solubilidad, etc., que son constantes (P.E. y P.F. constantes en el cambio de estado), diferenciándolo de las mezclas que son sistemas cuyas propiedades características son variables (dependen de la proporción de las sustancias mezcladas) y además no son constantes (P.E. y P.F. variables en el cambio de estado). El problema en torno al cual se articularía el aprendizaje de esta noción sería: ¿Cómo reconocemos qué sistemas son sustancias y cuáles son mezclas? El aprendizaje incluiría procedimientos tales como: la determinación de propiedades características (medidas de temperaturas de fusión y ebullición, densidad, etc. de sustancias y mezclas), preparación de mezclas y separación de sustancias mezcladas.

Una vez construidos los conceptos empíricos de sustancia y mezcla se interpretan con la teoría atómico-molecular: la sustancia es un sistema cuyas partículas características (moléculas,

etc.) son todas iguales y las mezclas están constituidas por partículas características diferentes. El aprendizaje se articularía en torno al siguiente problema: ¿Por qué las sustancias poseen propiedades características diferentes? ¿Por qué en los cambios de estado se separan las sustancias mezcladas? La teoría atómico-molecular nos permite explicar las diferentes propiedades características de las sustancias debido a las diferentes interacciones que se dan entre sus partículas características. Igualmente, la teoría atómico-molecular explica, mediante la diversidad de partículas, por qué sus propiedades no son constantes y pueden separarse las sustancias mezcladas.

A continuación se construye el concepto empírico de reacción química como proceso en el que desaparecen unas sustancias y aparecen otras nuevas sustancias. El problema en torno al cual se articularía el aprendizaje es el siguiente: ¿Se conservan las sustancias en todos los cambios? Los alumnos deberían investigar diferentes procesos, analizando las sustancias presentes al principio y al final, mediante la determinación de sus propiedades características, formulando hipótesis acerca de los cambios que se han podido producir y contrastándolas mediante experiencias controladas. De esta manera los alumnos aprenderían operaciones que podrían efectuar, ante determinados procesos, para indagar si ha habido conservación o variación de sustancias. Habría que poner especial atención a los

problemas de aprendizaje que se suelen presentar en este aspecto, tales como la confusión entre cambio de estado y reacción química. Interesa estudiar procesos que permitan la clasificación de las sustancias en simples y compuestos así como el planteamiento de nuevos problemas que conducirán a la construcción de la teoría atómica del cambio químico. Así pues se recomienda el estudio de procesos tales como: descomposición térmica de una sustancia, reacción entre dos sustancias con cambios aparentes de propiedades, reacción entre dos sustancias sin cambios aparentes de propiedades, electrolisis... En el estudio de estos procesos, especialmente en las descomposiciones térmicas o electrolíticas, hay que insistir en que las propiedades de las sustancias que se obtienen por descomposición son diferentes de las propiedades del compuesto de partida y que por consiguiente esas sustancias no existían anteriormente en el compuesto, constituyendo una mezcla. De la misma manera hay que poner de manifiesto que cuando se obtiene por síntesis a partir de dos sustancias, otra sustancia (tal como el caso de la síntesis del agua a partir del hidrógeno y oxígeno), las propiedades de la nueva sustancia son diferentes a las de la sustancia de partida y que éstas no se encuentran contenidas en la nueva sustancia; hay que insistir en que las sustancias de partida han desaparecido y se ha formado una nueva sustancia.

Otro aspecto que puede ponerse de manifiesto en el estudio de los diversos

procesos experimentales es el de la conservación de la masa, cuidando especialmente de aquellos casos en los que hay desaparición de materia corpórea por formación de gases o a la inversa, aparición de materia corpórea al desaparecer una sustancia gaseosa (oxidación de metales).

El conocimiento directo de procesos de cambio químico en el que unas sustancias desaparecen y se forman otras proporciona una base experiencias suficiente con la cual se permite a los alumnos comprender la clasificación de las sustancias en simples y compuestos. Conviene introducir criterios empíricos de clasificación tales como que las sustancias compuestas son aquellas que pueden dar lugar a la formación de otras sustancias nuevas cuando se las somete a un calentamiento o al paso de la corriente eléctrica (procesos conocidos como de descomposición), mientras que las sustancias simples no experimentan estos cambios sustanciales frente al aumento de temperatura y paso de la corriente eléctrica. Estos criterios pueden ampliarse más adelante, cuando se haya introducido el concepto de elemento, admitiendo que una sustancia que no experimenta cambios sustanciales frente al aumento de temperatura y/o paso de la corriente eléctrica, podría ser un compuesto si mediante otros procesos de cambio químico se encuentra que en su composición intervienen varios elementos. Conviene insistir en que a simple vista no hay diferencias entre las sustancias simples y los compuestos y que para diferenciar unas y otras hay

que recurrir a su comportamiento frente a procesos químicos tales como aumento de temperatura (descomposición térmica) y/o paso de corriente eléctrica.

Por otra parte, el conocimiento de procesos químicos tales como los recomendados anteriormente pueden conducir al planteamiento de los siguientes problemas: ¿Por qué sustancias tan diferentes como el agua y el clorato de potasio pueden dar origen a la formación de una misma sustancia, el oxígeno, tal como sucede cuando se hace pasar corriente eléctrica por el agua o se calienta el clorato de potasio? ¿Por qué una misma sustancia, el agua, puede dar lugar a dos sustancias con propiedades tan distintas como el hidrógeno y el oxígeno? ¿Por qué desaparecen oxígeno e hidrógeno y se forma agua con unas propiedades tan diferentes a las sustancias de partida? o problemas más generales como ¿por qué unas sustancias desaparecen y se forman otras nuevas? ¿Por qué en las sustancias nuevas no se reconocen las propiedades de las antiguas? ¿Por qué se conserva siempre la masa en todos los procesos químicos? ¿Qué pasa con las moléculas de las sustancias cuando estas desaparecen en las reacciones químicas? ¿cómo se forman las moléculas de las nuevas sustancias? Para dar respuesta a estos problemas, el profesor propone como teoría interpretativa la teoría atómica. Se introducen los postulados de esta teoría, formulándolos en términos muy simples: Existen diversas clases de átomos. Cada clase de átomos se conoce como elemento. Las partículas características

(moléculas ...) de las sustancias simples están formadas por un sólo elemento, es decir, por átomos de una sola clase. Las partículas características de los compuestos están constituidas por dos o más elementos, es decir, por o dos o más clases de átomos diferentes. En los procesos químicos los átomos que constituyen las sustancias iniciales se separan y se vuelven a unir recombinándose de una manera diferente para dar lugar a nuevas partículas características de las nuevas sustancias. Con estos postulados puede darse respuesta satisfactoria a todas las preguntas formuladas.

Al introducir la teoría atómica es preciso diferenciar entre sustancia simple y elemento. La sustancia simple es un sistema que posee un conjunto de propiedades características, tales como puntos de fusión, ebullición, densidad, etc., mientras que el elemento es una clase de átomos de los que suponemos, según la teoría atómica, que están compuestas las sustancias. Los elementos no poseen propiedades características como las sustancias. Una sustancia simple está constituida por partículas características (moléculas de uno, dos o más átomos) constituidas por átomos de un mismo elemento. Existen sustancias simples diferentes (con diferentes propiedades) constituidas por el mismo elemento, tal es el caso del dioxígeno (O_2) o el ozono (O_3). Estas sustancias están constituidas por el mismo elemento: el oxígeno (O). En los cambios químicos se conservan los elementos, esto es los átomos, pero no se conser-

van las sustancias simples. Estas desaparecen al desaparecer sus partículas características cuando los átomos se separan y se vuelven a recombinar con otros elementos para formar nuevas partículas características de nuevas sustancias.

Pero una teoría plantea nuevos problemas a los que es preciso dar respuesta y cuya resolución desarrollará la teoría. A partir de aquí, dependiendo del curso, pueden estudiarse problemas tales como el de las masas atómicas y las fórmulas de las sustancias, estudiar diversos tipos de cambios químicos como las combustiones, reacciones ácido-base, etc. También puede deducirse a partir de la teoría consecuencias contrastables como la proporcionalidad de las masas con que reaccionan las sustancias.

8. Bibliografía

- AZCONA R. y FURIÓ C., 1993: Contribución de la historia y la filosofía de la Ciencia a la comprensión de los conceptos cantidad de sustancia y mol, *Enseñanza de las Ciencias* (comunicación presentada al IV Congreso).
- BULLEJOS Y FURIO, 1989: La Enseñanza de la Química como Cambio Conceptual y Metodológico. Ejemplo de Aplicación: El Concepto Daltoniano de Reacción Química. Comunicación presentada al III Congreso Enseñanza de las Ciencias. Publicado resumen en *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. extra, pp. 141-142

- EGER M., 1992, Hermeneutics and Science Education: an introduction, *Science & Education*, 1(4), 335-348.
- ENCICLOPEDIA LAROUSSE, 1981: *Nueva Enciclopedia Larousse*. Tomo 19, p. 10006 (Editorial Planeta: Barcelona)
- FURIÓ C., BULLEJOS J. y DE MANUEL E., 1994, L'apprentissage de la réaction chimique comme activité de recherche, *ASTER*, N° 18, 141-164.
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A., 1989: *La Ciencia de los Alumnos. Su utilización en la Didáctica de la Física y la Química*. (Editorial Elzevir: Vélez-Málaga, 1991).
- LLORENS, J.A., 1991: *Comenzando a Aprender Química. Ideas para el Diseño Curricular*. (Aprendizaje Visor: Madrid).
- MIERZECKI, 1985. *The Historical Development of Chemical Concepts*. (PWN: Varsovia).
- PFUNDT, H. 1981: Pre-instructional Conceptions About Substances and Transformations of Substances. International Workshop: *Problems Concerning student's representation of Physics and Chemistry Knowledge*. Pädagogische Hochschule Ludwigsburg.

ANEXO I. PROTOCOLO PARA EL ANALISIS DE LIBROS DE TEXTO

Contenido	Criterio de valoración dicotómica
1. ¿Define (el texto) explícitamente, de forma procedimental (empírica), el concepto de sustancia?	Se considera positiva la respuesta cuando se haga alguna referencia explícita a la sustancia como material que tiene un conjunto de propiedades características que lo definen (criterio preferente S_1) y es homogéneo al cambio de estado (no se descompone en materiales diferentes) (criterio secundario S_2), antes de las definiciones de sustancia simple (o de la de elemento químico) y de reacción química. (R cuando se define la sustancia después del concepto de sustancia simple-compuesto y/o reacción química).
2. ¿Diferencia explícita o implícitamente de forma procedimental (empírica) una sustancia de una mezcla a través de la existencia o no de propiedades características fijas e independientes de la muestra y de la homogeneidad/heterogeneidad del sistema en el cambio de estado?	Se considerará positiva la respuesta cuando se haga alguna referencia explícita o implícita a que una sustancia es un sistema con propiedades características fijas e independientes de la muestra y homogéneo al cambio de estado, mientras que la mezcla es un sistema cuyas propiedades características no son fijas (las temperaturas no permanecen constantes mientras dura la ebullición y la fusión) y dependen de la muestra (densidad variable según la proporción de componentes...) (criterio preferente S_1), siendo heterogéneo en el cambio de estado (se descompone en materiales diferentes que al juntarlos dan de nuevo el sistema primitivo) (criterio secundario S_2).
3. ¿Define explícitamente el concepto de sustancia desde el punto de vista atomista?	Se considerará positiva la respuesta cuando expliciten, de cualquier manera (textualmente, S_1 , o mediante dibujos, S_2), que las partículas del sistema (moléculas) serán iguales.
4. ¿Diferencia explícitamente entre sustancia y mezcla en el contexto de la teoría atómica?	Se considerará positiva la respuesta cuando expliciten, de cualquier manera (textualmente, S_1 , o mediante dibujos, S_2), que en una mezcla, hay dos o más clases de partículas diferentes (con la excepción de las sustancias iónicas que están constituidas por dos clases de iones de carga opuesta).
5. ¿Define explícitamente de forma procedimental (empírica) el concepto de reacción química?	Se considerará positiva la respuesta cuando se haga alguna referencia explícita, antes de la definición de sustancias simple (o elemento químico) y compuesto, a que un cambio (proceso) es una reacción química cuando desaparecen unas sustancias y aparecen otras nuevas (criterio preferente S_1) lo cual se verifica empíricamente por la comprobación del cambio de propiedades características de los sistemas materiales implicados en el proceso (criterio secundario S_2). (R cuando se define la reacción química después de definir los conceptos de sustancia simple-compuesto).
6. ¿Define explícitamente el concepto de reacción química desde el punto de vista atomista?	Se considerará positiva la respuesta cuando explícita textualmente (criterio preferente S_1) o mediante dibujos (criterio secundario S_2) que en un cambio químico (reacción química) las partículas constituyentes características del sistema inicial cambian y se transforman en otras con una composición y estructura atómica diferente.
7. ¿Diferencia explícitamente, de forma procedimental (empírica) una sustancia simple de un compuesto?	Se considerará positiva con sólo hacer mención de que la sustancia simple (o el elemento químico) no se pueden resolver en otros y la compuesta sí.
8. ¿Diferencia explícitamente entre sustancia-simple y sustancia-compuesto en el contexto de la teoría atómica?	Se considerará positiva cuando se explicita que una sustancia-simple es un sistema constituido por átomos de una sola clase, mientras que una sustancia-compuesto es un sistema constituido por átomos de dos o más clases.
9. ¿Identifica el concepto empírico de sustancia simple y el atomista de elemento químico (clase de átomos)?	Se considerará positiva cuando se hace referencia explícita a que sustancia simple y elemento son sinónimos y/o además se hace uso del término elemento como clase de átomos.
10. ¿Hacen ver las limitaciones de la identificación entre sustancia simple y elemento químico?	Se considerará positiva con sólo hacer una única mención de estas limitaciones, como por ejemplo carácter más inclusor del concepto de elemento, subsunción del concepto de sustancia simple dentro del de elemento, posibilidad de que un mismo elemento pueda dar sustancias simples diferentes (por ser distintas las agregaciones atómicas que conforman la sustancia), etc...
11. ¿Hacen referencia explícita a que las propiedades de un compuesto son diferentes de las propiedades de las sustancias simples a partir de las cuales puede obtenerse el compuesto o en las que puede resolverse éste por descomposición?	Se considerará positiva cuando se haga mención explícita a este hecho en general (criterio preferente S_1) o en algún ejemplo concreto (criterio secundario S_2).
12. ¿Extrapolan las propiedades macroscópicas de las sustancias a sus moléculas?	Se considerará positiva cuando se haga mención a que las moléculas o átomos son la parte más pequeña de una sustancia que conserva las propiedades de ésta (aún cuando se explicita que las propiedades son sólo las propiedades químicas).
13. ¿Plantea y da solución en el contexto de la teoría atómica al problema epistemológico de la no conservación de las propiedades de las sustancias simples (y por tanto la ausencia de éstas) cuando se forma un compuesto (síntesis química) o la no conservación de las propiedades del compuesto cuando éste se descompone en sustancias simples (análisis químico)? (Planteamiento del problema general: ¿Qué cambia y qué se conserva en un cambio químico?)	Se considerará positiva cuando haya enunciados declarativos referidos a problemas concretos que resolverá el concepto de elemento o se hacen proposiciones indagativas al proponer el concepto de elemento. Ejemplos: 1. Del agua se obtiene oxígeno, del clorato de potasio se obtiene oxígeno ¿cómo de dos sustancias tan distintas como el agua y el clorato de potasio pueden obtenerse una misma sustancia como el oxígeno? 2. Del agua se obtiene oxígeno e hidrógeno, dos sustancias con propiedades completamente diferentes a las del agua. El agua no es una mezcla de hidrógeno y oxígeno. ¿Cómo es posible que se obtenga hidrógeno y oxígeno a partir del agua?
14. ¿Se hacen comentarios históricos sobre la evolución del concepto de elemento?	Se considerará positiva cuando haya comentarios no anecdóticos, sino problemáticos, indicando contra qué se construye el concepto de elemento. Por ejemplo, el concepto empírico de cuerpo simple se construye contra el concepto Aristotélico de elemento, etc...
15. ¿Se introduce el concepto de sustancia simple-compuesto en el contexto empírico, antes de introducir el concepto atomista de elemento?	Se considerará positiva cuando efectivamente se define el concepto de sustancia simple-compuesto en el contexto empírico, antes de introducir el concepto atomista.