

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA SECUENCIA DE ENSEÑANZA PARA INTRODUCIR LOS CONCEPTOS DE SUSTANCIA Y COMPUESTO QUÍMICO

FURIÓ-MÁS, CARLES¹; DOMÍNGUEZ-SALES, MARÍA CONSUELO¹ y GUIASOLA, JENARO²

¹ Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials, Universitat de València

² Departamento de Física Aplicada, Universidad del País Vasco

carles.furio@uv.es

consuelo.dominguez-sales@uv.es

jenaro.guisasola@ehu.es

Resumen. Este estudio propone la implementación de una secuencia didáctica para facilitar el aprendizaje de los conceptos de sustancia, sustancia simple y compuesto en educación secundaria. Para su elaboración se ha partido del análisis histórico y las concepciones alternativas más frecuentes de los estudiantes respecto a estos conceptos. Su evaluación se ha realizado mediante un estudio comparativo entre grupos de alumnos que la han utilizado en clase y grupos que han seguido un método de enseñanza tradicional. Los resultados muestran que la selección de contenidos y las estrategias utilizadas en una secuencia de enseñanza de orientación constructivista ofrece a los estudiantes mayor capacidad de análisis así como un conocimiento más profundo de los conceptos estudiados.

Palabras clave. Sustancia, diseño de secuencias de enseñanza, dificultades de aprendizaje, evaluación de una secuencia.

Design and implementation of a teaching sequence to introduce the concepts of chemical substance and compound

Summary. This study proposes the use of a teaching sequence designed to facilitate the learning of the concepts of substance, simple substance and compound in secondary education. It has been elaborated following the historical analysis of the development of these concepts and having also into account the most frequent mistakes committed by students. Its evaluation has been carried out by means of the comparison between the answers given by students who have used it in classroom and other students who have followed the traditional teaching method. The results obtained show that the content selection and sequencing strategies used in a constructivist teaching offers students a major knowledge and capacity of analysis of the studied concepts.

Keywords. Chemical substance, teaching sequence design, learning difficulties, teaching sequence evaluation.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es elaborar una secuencia de enseñanza-aprendizaje que facilite a los estudiantes la comprensión de los conceptos de sustancia, sustancia simple y compuesto. Para estructurarla, se ha partido de los resultados obtenidos en investigaciones anteriores, lo que ha facilitado la determinación de los objetivos de enseñanza así como el diseño de actividades que permitan a los alumnos alcanzarlos (Leach y Scott, 2002 y 2003).

Concretamente, se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- El análisis histórico ha permitido determinar las principales dificultades epistemológicas que se tuvieron que superar y los argumentos utilizados para construir nuevos conceptos y modelos explicativos (Wandersee et al., 1994; Driver y Oldham, 1985). Este conocimiento ayuda

a salir al paso de las principales dificultades de los estudiantes, detectadas por la investigación respecto al tema de estudio (Furió-Más y Domínguez-Sales, 2007a).

- En base al análisis epistemológico se han determinado los objetivos de aprendizaje y, en función de éstos, hemos desarrollado la noción de *indicadores de aprendizaje*, que describen los contenidos específicos que los estudiantes deben conocer y nos permiten secuenciar las etapas a cubrir.
- Para atender a los aspectos emocionales y favorecer los procesos cognitivos con los que están estrechamente vinculados (Zembylas, 2005), se han incluido actividades que desarrollan aspectos CTSA.
- Atendiendo un enfoque constructivista, la secuencia didáctica se ha diseñado en forma de programa de actividades (Leach y Scott, 2003; Meheut, 2004), con la intención de que las estrategias metodológicas introducidas permitan a los estudiantes adquirir las habilidades necesarias para superar las dificultades detectadas (Driver y Oldham, 1985; Lijnse y Klaasen, 2004).

Tabla 1
Utilización de los resultados de la investigación para diseñar la secuencia de enseñanza.

Análisis epistemológico de los contenidos del currículo escolar <i>Selección y organización de los indicadores de aprendizaje</i>	Ideas y razonamientos de los estudiantes <i>Dificultades de aprendizaje</i>	Intereses, actitudes, valores y normas <i>Aspectos C-T-S-A</i>
Problemas específicos y objetivos en la secuencia <i>Objetivos de enseñanza</i>		Entorno de estudio interactivo <i>Enseñanza de estrategias</i>

Atendiendo a los aspectos expuestos en la tabla 1, hemos elaborado una secuencia de enseñanza destinada a superar las dificultades de aprendizaje detectadas por la investigación respecto a los conceptos macroscópico y microscópico de sustancia, sustancia simple y compuesto. En particular, este trabajo pretende responder a las siguientes preguntas:

- ¿Cómo se puede diseñar una secuencia didáctica que tenga en cuenta los aspectos indicados?
- ¿En qué medida la aplicación de esta secuencia puede favorecer la superación de las dificultades de los estudiantes que inician el estudio de los materiales en Química?

Para responder a estas preguntas comenzaremos revisando los resultados obtenidos en la investigación en

didáctica respecto a las principales dificultades de los estudiantes sobre los conceptos de sustancia, sustancia simple y compuesto químico. A continuación se efectuará un análisis epistemológico del nacimiento del modelo atómico. Finalmente, la relación entre ambos aspectos nos permitirá definir los indicadores del aprendizaje.

Dificultades de los estudiantes

La investigación didáctica ha detectado reiteradamente en estudiantes de diferentes edades y orígenes, entre otras, las siguientes dificultades:

- En general, no utilizan la definición macroscópica de sustancia como «material puro, no mezclado, que posee un conjunto de propiedades características y constantes». Por el contrario, suelen asociar el significado empírico de sustancia con el más general de material o producto mezclado (Stavridou y Solomonidou, 1989; Andersson, 1990), que suele utilizarse en el lenguaje cotidiano.
- En este nivel de representación macroscópico, muchos estudiantes identifican una mezcla y un compuesto (Ben-Zvi et al., 1986; Sanmartí, 1989; Domínguez y Furió, 2001).
- La falta de criterios macroscópicos para inferir si en un proceso han cambiado las sustancias o no impide distinguir entre procesos físicos y químicos (Stavridou y Solomonidou, 1989, 1998; Johnson, 2000a, 2000b; Domínguez, Furió y Guisasaola, 2007; Furió-Más y Domínguez-Sales, 2007b).
- No son capaces de conceptualizar la sustancia como un sistema submicroscópico formado por partículas iguales (átomos, moléculas o iones). Por lo general, en este nivel reducen el concepto de sustancia al de sustancia simple, es decir, un cuerpo formado por el mismo tipo de átomos (Sanmartí, 1989; Furió-Más y Domínguez-Sales, 2007a).

Por otra parte, los docentes (y también los libros de texto) tienden a identificar los conceptos de sustancia simple y elemento, lo que refuerza la intuición más general de los estudiantes de que sólo hay dos tipos de sistemas químicos: las mezclas o compuestos y las sustancias simples o elementos químicos (Furió-Más y Domínguez-Sales, 2007a).

Breve análisis epistemológico del nacimiento del modelo atómico e indicadores de aprendizaje

Un análisis epistemológico de las interpretaciones realizadas sobre la estructura y variedad de los materiales desde las explicaciones presocráticas hasta la teoría atómica de Dalton, incluyendo la interpretación de la combustión de materia orgánica dada por Lavoisier, indica que se llevaron a cabo tres importantes contribuciones:

- La superación de la diferencia aristotélica entre la *materia corpórea* (sólidos y líquidos que se pueden ver y tocar) y la *materia rara* (vapores y gases, que nor-

malmente no se pueden ver o pesar). Este primer salto cualitativo se produjo entre los siglos xv y xvii cuando filósofos mecánicos, como Boyle, atribuyeron a los gases propiedades físicas típicas de los metales (por ejemplo, la elasticidad). Ello dio lugar a la introducción de la teoría cinético-corpúscular de los gases, que más tarde se extrapó a la materia condensada. Debemos tener en cuenta que, hasta que los gases no fueron considerados tan materiales como los sólidos y líquidos, fue difícil comprender la conservación de la masa en los cambios químicos (Furió, Hernández y Harris, 1987).

b) La introducción de los conceptos macroscópicos de sustancia y compuesto (Klein, 1986) a lo largo de los siglos xvii y xviii supuso otro importante avance. Hoy sigue vigente la definición empírica de *sustancia* como cuerpo no mezclado que posee unas propiedades características físicas y químicas (Solsona e Izquierdo, 1998). Esta afirmación presupone que un compuesto químico es un tipo de sustancia y, por tanto, diferente de una mezcla. Por ello, sin comprender estos conceptos macroscópicos será difícil que los estudiantes entiendan el cambio químico como un proceso en el que cambian las sustancias iniciales.

c) A principios del siglo xix el modelo atómico clásico ofreció una explicación submicroscópica a los anteriores conceptos. Suponía que todas las partículas de la sustancia (tanto simple como compuesta) eran idénticas y estaban formadas por uno o más elementos químicos (de Vos y Verdonk, 1987a, 1987b). Al reorganizarse, los átomos de las sustancias reaccionantes forman las partículas de las nuevas sustancias. Es decir, en un proceso químico cambian las sustancias, pero permanecen los elementos. En este modelo el elemento químico se conceptualiza como un conjunto de átomos idénticos, que participan en la composición de las sustancias simples y compuestas, sin que se le atribuyan propiedades macroscópicas (Scerri, 2008).

A partir del análisis epistemológico se han establecido las definiciones del marco teórico de la química que se indican en la tabla 2 (de Vos y Verdonk, 1987a, 1987b; Gabel, 1993).

Así mismo, junto con las aportaciones epistemológicas y los resultados de la investigación sobre concepciones de los alumnos, para estudiar «la diversidad de la materia» se han establecido los siguientes indicadores:

Como paso previo al estudio de esta unidad, los estudiantes deben conocer el modelo cinético-corpúscular de la materia y su aplicación al estudio de los sólidos, líquidos y gases. El estudio del tema en sí persigue una comprensión clara del concepto macroscópico de sustancia, que permita la utilización de las propiedades específicas de las mismas para reconocerlas (Johnson, 2000b), así como para diferenciarlas de las mezclas, ofreciendo información sobre productos químicos de uso cotidiano, su utilidad y los efectos que pueden causar sobre el medio ambiente.

A continuación, el estudio macroscópico de las reacciones de síntesis y descomposición facilita la comprensión y diferenciación de los conceptos empíricos de sustancia simple y compuesto. Una vez más, el análisis de las propiedades macroscópicas permite diferenciar entre una mezcla y un compuesto (Ben-Zvi et al., 1986).

Por último, la interpretación atomista del concepto de sustancia proporciona un modelo que explica las diferencias entre material mezclado y sustancia (haciendo hincapié en las diferencias entre mezcla y compuesto), así como la posibilidad de descomponer sustancias compuestas en otras más simples. También justifica algunas propiedades específicas de las sustancias, como por ejemplo la constancia de su composición.

Con todo ello se pretende que los estudiantes lleguen a comprender que la amplia diversidad de la materia puede ser explicada a partir de la combinación de alrededor de un centenar de elementos químicos. Cada elemento se concibe como un conjunto de átomos, idénticos entre sí, pero diferentes a los de otro elemento, cuya unión puede explicar la mayoría de las sustancias conocidas, simples y compuestas.

En la tabla 3 se sintetizan los indicadores de aprendizaje a alcanzar y las posibles dificultades que se pueden encontrar durante el proceso.

Tabla 2
Niveles de interpretación macroscópica y microscópica de los conceptos de sustancia, sustancia simple y compuesto.

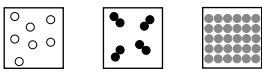
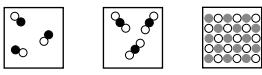
INTERPRETACIÓN MACROSCÓPICA	INTERPRETACIÓN ATOMISTA
SUSTANCIA: Material que posee un conjunto de propiedades características invariables.	SUSTANCIA: Material formado por un conjunto de partículas iguales.
SUSTANCIA SIMPLE: La sustancia que no se puede descomponer en otras más sencillas.	SUSTANCIA SIMPLE: Constituida por átomos iguales.* 
SUSTANCIA COMPUESTA (Compuesto): La sustancia que puede descomponerse en otras más sencillas mediante procedimientos químicos.	(* Un mismo elemento químico puede dar lugar a una o varias sustancias simples. SUSTANCIA COMPUESTA: Formada por partículas complejas todas iguales (formadas por átomos de los elementos que la constituyen). 

Tabla 3
Indicadores de aprendizaje y posibles dificultades.

INDICADORES DE APRENDIZAJE	POSIBLES DIFICULTADES
<ul style="list-style-type: none"> • Clasificar empíricamente la materia en mezclas y sustancias (materiales no mezclados). Para ello, deben conceptualizar macroscópicamente una sustancia como aquel material que posee un conjunto de propiedades específicas, inmutables y constantes. • Reconocer una sustancia a nivel macroscópico a partir de sus propiedades específicas. • Clasificar las sustancias como simples o compuestas, según puedan descomponerse o no mediante procedimientos térmicos o eléctricos. • Distinguir, a nivel macroscópico, entre una mezcla de sustancias simples y el compuesto formado por ellas. • Diferenciar, a escala submicroscópica, entre una mezcla y un compuesto mediante representaciones icónicas de partículas. 	<ul style="list-style-type: none"> • No poder distinguir un material (mezclas en general) de una sustancia, ya que estos dos términos se utilizan como sinónimos en el lenguaje cotidiano. • Falta de criterios empíricos, sobre todo en cuanto a procedimientos, para diferenciar entre una mezcla y una sustancia. • No distinguir macroscópicamente entre una mezcla de sustancias simples y el compuesto formado por los mismos elementos. • También tienen dificultades para diferenciarlos a nivel submicroscópico. • A nivel submicroscópico, confunden el término sustancia con el de sustancia simple. • En general, desde el punto de vista químico los estudiantes reducen los sistemas materiales a dos: mezcla o compuesto, por una parte, y sustancia simple o elemento químico, por otra.

Elaboración del hilo conductor de la secuencia de enseñanza en forma problematizada

El diseño de la secuencia implica integrar de forma creativa las dificultades de aprendizaje y los aspectos ontológicos. Esto nos lleva a formular los objetivos de enseñanza como una secuencia de actividades en forma de estructura problematizada, cuya resolución requerirá que los estudiantes aprendan los conocimientos, razonen sobre el tema específico que está siendo enseñado y añadan nuevos conocimientos y valores a los que ya poseen (Linse y Klaasen, 2004; Guisasola, Furió y Ceberio, 2008).

A continuación, la tabla 4 muestra los objetivos de enseñanza que se pretenden cubrir con este programa de actividades, así como una explicación del tipo de actividades incluidas en cada apartado de la secuencia, indicando el tiempo dedicado a cada uno de ellos, entendiendo que se trata de sesiones habituales de clase, de 55 minutos de duración.

DESCRIPCIÓN DE ALGUNAS ACTIVIDADES DE CLASE

La secuencia de enseñanza ofrecida se ha puesto en práctica en 3.º de ESO, curso en que se estudia la «diversidad y estructura de la materia». La metodología de trabajo en clase fue de organización en pequeños grupos en los que los estudiantes debatían las actividades, evaluaban sus ideas iniciales, generaban nuevas ideas y llegaban o no a un consenso.

En este contexto, el papel del profesor cambia respecto al modelo tradicional ya que, mientras los estudiantes discuten, debe interactuar con los diferentes grupos, planteando preguntas que centren las cuestiones, ofreciendo nuevos puntos de vista y reforzando ideas, pero sin dar la solución directamente. Finalmente, un representante de cada grupo ofrece sus respuestas al resto de la clase, lo que genera un debate del que se obtienen conclusiones que permiten elaborar un resumen y «reformular» las

respuestas. Por su parte, cada estudiante debe recoger en su cuaderno los *informes individuales* de las actividades llevadas a cabo.

Las actividades, realizadas según esta metodología, fueron grabadas y analizadas posteriormente para evaluar el razonamiento y argumentos utilizados por los estudiantes. A continuación se ejemplifican tres de ellas. La primera hace referencia al apartado 1.1 de la tabla 3 y se presentó de la siguiente manera:

A1. a) Indica tres materiales diferentes que uses habitualmente y sean productos químicos y otros tres que no lo sean.

b) A partir de las respuestas que acabas de dar, ¿crees que puede ser interesante estudiar Química, o no? ¿Por qué?

Esta actividad se introduce para que los alumnos vean que casi todos los materiales observados pueden considerarse productos químicos, que suelen presentarse en forma de mezclas. Mientras debatían, el profesor paseaba entre los grupos planteando cuestiones que les permitían ampliar sus perspectivas, como: ¿de qué está hecho este material?, ¿qué propiedades tiene?, ¿se puede utilizar para satisfacer las necesidades humanas?, ¿cómo se puede transformar un material en otros que tengan propiedades que nos interesan?...

Los estudiantes mencionaron numerosos productos químicos, como el maquillaje, productos de limpieza, los medicamentos... pero no pudieron encontrar ni uno solo que no fuera un material químico. Algunos de ellos mostraron su sorpresa al constatar que «los alimentos y los medicamentos son productos químicos». A continuación se muestran los comentarios formulados por dos grupos diferentes:

«Entonces... todo lo que usamos o comemos es química... porque todo lo que tenemos... todas las cosas las han hecho en una fábrica. Nunca había pensado que todo lo que hay a mi alrededor es química. Yo pensaba que la química es aburrida y ahora... ahora resulta que ¡yo soy química!

Tabla 4
Secuencia para estudiar el tema: «¿Cómo explicar la diversidad de la materia?»

SECUENCIA DE SITUACIONES PROBLEMÁTICAS	IDEAS, PROCEDIMIENTOS Y ACTITUDES A CONOCER RESPECTO DE LA CIENCIA	EXPLICACIONES CIENTÍFICAS QUE DEBEN SER APRENDIDAS	SESIONES	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES
<p>1.1. ¿Por qué es interesante estudiar qué es la materia y cómo transformarla?</p> <p>1.2. ¿Qué preguntas se pueden abordar en el estudio de la gran diversidad de materiales?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Valorar la importancia de conocer los materiales que utilizamos en la vida cotidiana, sus aplicaciones y repercusión (relaciones C-T-S-A). • Establecer los contenidos del tema a tratar con la ayuda de la mediación del profesor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Buscar una explicación a la diversidad de materiales y saber cómo pueden ser transformados para cubrir necesidades personales y sociales. 	1	<p>Productos químicos habituales. Utilidad. Interés de su uso.</p>
<p>2.1. ¿Cómo podemos inferir empíricamente si un material es una sustancia o una mezcla?</p> <p>2.2. ¿Cómo podemos aprovechar las propiedades características de las sustancias conocidas para separarlas de una mezcla?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Familiarizarse con observaciones empíricas de materiales sencillos de uso habitual para clasificarlos en mezclas y sustancias, basándose en sus propiedades. • Separar las sustancias que forman una mezcla conocida teniendo en cuenta sus propiedades específicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conceptualizar macroscópicamente la sustancia como material puro que posee propiedades características fijas e inmutables. 	8	<p>Medida de masa y volumen de materiales en estado sólido, líquido y gaseoso. Actividades de estudio de la densidad, temperaturas de fusión y ebullición de diversas sustancias. Actividades de realización y lectura de tablas y gráficos.</p>
<p>3.1. ¿Es posible descomponer una sustancia? ¿Cómo sabemos si una sustancia es compuesta?</p> <p>3.2. ¿Por qué unas sustancias se descomponen y otras no?</p> <p>3.3. ¿Cómo puede justificarse la gran diversidad de materiales existentes?</p> <p>3.4. Recapitulación y nuevos problemas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diferenciar casos sencillos de cambios físicos y químicos. • Familiarizarse con los procedimientos térmicos o eléctricos para descomponer sustancias compuestas y saber clasificar empíricamente las sustancias en simples y compuestas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Explicar las razones utilizadas para idear procedimientos que permitan separar las sustancias conocidas que hay en una mezcla. 	4	<p>Utilización de criterios empíricos para reconocer sustancias. Técnicas de separación de los componentes de una mezcla.</p>
		<ul style="list-style-type: none"> • Conceptualizar macroscópicamente un compuesto como una sustancia que puede descomponerse en sustancias más simples (análisis). • Conceptualizar macroscópicamente una sustancia simple como una sustancia que no puede descomponerse en otras más simples (análisis) 	7	<p>Actividades de reconocimiento y elicitación de procesos físicos y químicos habituales para los estudiantes. Actividades descriptivas de procesos de análisis y síntesis. Actividades para reconocer la existencia de sustancias simples y compuestas.</p>
		<ul style="list-style-type: none"> • Modelo atómico de la materia (mezclas y sustancias) e introducción del concepto de elemento químico para explicar su composición y diversidad 	5	<p>Actividades de relación con la teoría cinético-corpúscular de los gases. Actividades de relación entre las propiedades y el modelo de partículas. Actividades para reconocer sustancias simples y compuestas mediante representaciones icónicas. Actividades para relacionar los cambios químicos con la posibilidad de reorganización de las partículas. Actividades para introducir la noción de elemento químico para explicar la diversidad de sustancias Actividades de síntesis del tema y propuesta de estudio de los cambios químicos como nuevo problema.</p>

«Me gusta beber cuando salgo los sábados por la noche, pero no se me había ocurrido que el alcohol era química. Me ha impresionado... Y me ha fastidiado mucho que haya gente capaz de ganar dinero a costa de la salud de otros. Eso que has contado de unas personas que murieron porque les habían vendido alcohol metílico como si fuera una bebida normal... ¡Lo habían comprado porque no tenían dinero! ¡Yo creo que es una vergüenza!»

El profesor cierra el debate centrándose en las propiedades de materiales cotidianos y la búsqueda de criterios que ayuden a explicar la enorme diversidad de la materia. Los estudiantes llegan a comprender que la mayor parte de materiales están formados por mezclas, que hay que separar para poder utilizar y transformar en objetos útiles a la sociedad. Por ello, el trabajo continúa enfocando el problema de separar las sustancias mezcladas, para lo que se inicia el estudio empírico de las sustancias a partir de sus propiedades.

El siguiente ejemplo ofrece una actividad de síntesis relativa a los problemas 2.1. y 2.2. de la tabla 4.

A2. a) La etiqueta de algunos productos (medicinas, agua mineral, etc.) ofrece su composición, lo que nos permite saber de qué están formados. Sin embargo, no siempre tenemos disponible esta información. En este caso, ¿cómo podemos saber si un determinado material es una sustancia o una mezcla?

b) Supongamos que nos ofrecen una botella con un líquido en su interior. Diseña y explica tres pruebas diferentes que podrías realizar para determinar si se trata de una sustancia o una mezcla.

c) Elige dos de las experiencias que has diseñado y llévalas a cabo en el laboratorio. A partir de los resultados obtenidos y con la ayuda de las tablas de datos disponibles en el laboratorio, sugiere cómo se puede saber de qué líquido se trata.

El primer objetivo de esta actividad es resumir los contenidos estudiados y utilizar las propiedades específicas para determinar si un material es una sustancia o una mezcla. Por otra parte, pedirles que realicen las experiencias en el laboratorio les obliga a establecer hipótesis e idear un diseño experimental para medir, por ejemplo, la densidad y el punto de ebullición del líquido problema. También les lleva a consultar las tablas de datos de laboratorio, para contrastar los valores obtenidos experimentalmente con los que se muestran en las mismas, lo que les permitirá inferir cuál es la sustancia que podría contener la botella. Todas estas acciones ayudan a que sean conscientes de la utilidad de las propiedades características de las sustancias, tanto para reconocerlas como para poder separar las que componen una mezcla.

La última actividad que mostramos hace referencia a la explicación submicroscópica de los conceptos estudiados (ítem 3.2 de la tabla 4) y permite efectuar una recapitulación de los mismos.

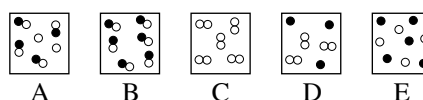
A. 3. Hasta el momento, hemos analizado bastante información referente a la composición de las sustancias, de la que podemos destacar los siguientes aspectos:

- Todas las sustancias están formadas por partículas.
- Las propiedades de las sustancias son idénticas en todos sus puntos, sin importar la porción que se tome de la misma.
- Cada sustancia posee unas determinadas propiedades, diferentes de las propiedades de otras sustancias.

a) Da una explicación, desde el punto de vista de las partículas, de cada uno de los aspectos que se acaban de enumerar.

b) Si dispusiéramos de un instrumento tan potente que nos permitiera ver los átomos, dibuja lo que se vería en cada uno de los siguientes casos: una sustancia simple, una sustancia compuesta, una mezcla de dos sustancias simples.

c) Para cada uno de los siguientes casos, indica si se trata de una sustancia o una mezcla.



El apartado (a) permite relacionar los aspectos macroscópicos con la explicación ofrecida por la teoría atómica clásica. Por su parte, los apartados (b) y (c) permiten poner en práctica los conocimientos que han asimilado. El ejercicio incluye mezclas, sustancias simples y compuestas, dejando abierto el problema de la introducción del elemento químico, que se llevará a cabo en etapas posteriores.

DISEÑO EXPERIMENTAL PARA IMPLEMENTAR LA SECUENCIA DE ACTIVIDADES Y ANALIZAR SU EFICACIA

La unidad fue diseñada por los autores de este trabajo y aplicada por una de las autoras y otra profesora, con 14 años de docencia, aunque con menos experiencia en las estrategias de enseñanza propuestas en esta investigación. El experimento se llevó a cabo durante dos años académicos, en dos institutos públicos de enseñanza secundaria, ubicados ambos en un entorno rural y con estudiantes de clases media y media baja. Todos ellos tenían 14-15 años, como corresponde al nivel de 3.º de ESO en la educación española. La enseñanza que habían recibido hasta aquel momento era similar, basada en la transmisión verbal de conocimientos y ajustada al currículo marcado por la ley. La distribución de estudiantes se realizó al azar, según las necesidades propias de cada centro. Los alumnos cuyas profesoras estaban llevando a cabo la experiencia constituyeron los grupos experimentales, mientras los grupos de control los formaron los grupos impartidos por el resto de profesores de física y química de los mismos centros. En concreto, la profesora investigadora dio clase

a 5 grupos, con un total de 136 estudiantes, y la profesora tutorizada a 51 estudiantes, repartidos en dos grupos. En los grupos de control participaron 200 estudiantes.

Para determinar el nivel inicial de los estudiantes, a una pequeña muestra se les pasó un cuestionario similar al que se ofrece en el anexo I. Los resultados obtenidos mostraron que existían dificultades de aprendizaje en la definición y diferenciación de los conceptos de sustancia, compuesto y mezcla, similares a las expuestas en la tabla 3. Sus conocimientos se podían describir como de aprendizaje poco significativo, que podía ser útil para resolver problemas estándar, pero no les otorgaba suficiente comprensión para aplicarlos en diferentes contextos. No hubo diferencias significativas en las respuestas correctas entre los distintos grupos de la muestra, por lo que, podemos concluir que todos partían aproximadamente del mismo nivel de competencia académica. Todos los alumnos cubrieron el programa oficial de la asignatura, aunque los grupos experimentales utilizaron el cuaderno de actividades, siguiendo estrategias de enseñanza centradas en debatir las actividades de la secuencia, mientras que los estudiantes de control utilizaron los libros de texto habituales en el mercado, siguiendo la metodología de enseñanza por transmisión de conocimientos. Los estudiantes de control son informados de las definiciones y conceptos mediante transmisión oral que posteriormente se ilustra con ejercicios numéricos del libro de texto, realizados habitualmente por el profesor en la pizarra, seguido de una discusión con los estudiantes. Los estudiantes de control no tienen acceso a prácticas experimentales o fenómenos de experiencia de cátedra, aunque se les describe oralmente o mediante ilustraciones diferentes experimentos. Tanto los grupos de control como los experimentales dedicaron el mismo número de sesiones al tema que se indica en la tabla 4 (25 sesiones).

Evaluación de la secuencia

Para evaluar la eficacia de la secuencia didáctica, se elaboraron un cuestionario y una entrevista (véase anexos 1 y 2). El cuestionario fue diseñado para que sus preguntas cubrieran los indicadores de aprendizaje mostrados en la tabla 3. Se pasó a todos los estudiantes, tanto de los grupos experimentales como de control. A fin de garantizar su fiabilidad, todos los realizaron en las mismas condiciones, a saber, en una sesión de clase, sin previo aviso, y dos meses después de finalizar la enseñanza de la materia en cuestión. Para constatar que no tenían problemas para entender las preguntas, se llevó a cabo un estudio piloto previo con muestras pequeñas de estudiantes. Por otra parte, tanto los alumnos de control como los experimentales fueron entrenados en la elaboración de mapas conceptuales con anterioridad a la realización del cuestionario, en la asignatura de Ciencias Naturales, para que no tuvieran dificultades en su realización.

Los criterios de evaluación se establecieron en función de los indicadores de aprendizaje indicados en la tabla 3. Cada ítem fue validado en los objetivos perseguidos por tres investigadores expertos. En una sesión de entrenamiento se examinó el 10% de la muestra. Para clasificar

las respuestas como «correcta» o «incorrecta» no se tuvo en cuenta únicamente el resultado, sino también la explicación y argumentación utilizada. El nivel de acuerdo para clasificar las explicaciones de los estudiantes como «correcta» o «incorrecta» fue superior al 90% para cada pregunta. Con el fin de analizar si existían o no diferencias significativas entre los grupos experimentales y de control, cada ítem fue comparado mediante el parámetro estadístico no paramétrico de la chi cuadrado (χ^2). Se considera que la asociación entre el método de enseñanza y los resultados de aprendizaje obtenidos es significativa si el factor estadístico χ^2 obtenido con el 95% de confianza toma un valor mayor que el correspondiente al de la distribución teórica de χ^2 (Crocker, 1969).

Los aspectos cualitativos del grado de comprensión de los alumnos se evaluaron mediante una entrevista (véase el anexo 2) ante fenómeno (White y Gunstone, 1992), tratando los datos de forma que los resultados fueran lo más fiables posible (Ericsson y Simon, 1984). Se entrevistó a 10 estudiantes de los grupos experimentales y a 15 de los grupos de control. Todos ellos fueron seleccionados al azar, únicamente en función de su disponibilidad para participar. Las entrevistas fueron grabadas en audio y posteriormente transcritas y analizadas. Su objetivo era detectar la presencia de las dificultades indicadas en la tabla 3 y analizar en profundidad el pensamiento de los estudiantes respecto a los objetivos establecidos en el cuestionario. Para dicho análisis se usaron las categorías de respuesta de un trabajo anterior relativo a las dificultades de aprendizaje del concepto de sustancia (Furió-Más y Domínguez-Sales, 2007a).

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Comenzaremos analizando comparativamente las respuestas al cuestionario (Anexo 1). La tabla 5 muestra los porcentajes de respuestas correctas obtenidas por los grupos de control y por los grupos experimentales, siendo E1 los correspondientes a la profesora investigadora, E2 los de la profesora con menor experiencia en la metodología experimental y M el valor medio de ambos grupos.

El valor de χ^2 se obtiene de la comparación entre el promedio de los grupos experimentales y los de control. Su valor es mucho más alto que el proporcionado por las tablas de contingencia en todas las cuestiones. Por ello, la hipótesis nula debe ser rechazada en su máxima significación de 1 por cada 1.000, una puntuación considerablemente inferior al 5%, que es normalmente el máximo aceptado en este tipo de investigaciones.

Como podemos ver en la tabla 5, las diferencias entre los grupos experimentales y de control son estadísticamente significativas para todos los ítems, apreciando una notable mejora en el conocimiento del concepto macroscópico de sustancia (preguntas 1, 2 y 6). También resulta significativa la mejor comprensión de la definición de sustancia simple, compuesto y mezcla a escala submicroscópica (preguntas 3, 4 y 5). A continuación, comentaremos brevemente los resultados de las cuestiones 1, 3 y 6.

Tabla 5
Resultados obtenidos en el cuestionario por los grupos experimentales y de control.

Ítem	Categorías de respuesta	PORCENTAJE DE RESPUESTAS CORRECTAS (%)				P < 0,001
		E.1 N = 136	E.2 N = 51	M* N = 187	Control N = 200	χ^2
1a	Saben clasificar los sistemas materiales en sustancias y mezclas (mapa conceptual)	81,6	60,8	75,9	24,0	106,1
1b	Distinguen, a nivel macroscópico, una mezcla de un compuesto (mapa conceptual)	86,0	68,6	81,3	42,2	63,1
2	Conceptualizan empíricamente una sustancia por medio de, al menos, una propiedad específica cuantitativa	76,5	49,0	69,0	18,5	100,6
3	Reconocen que, a nivel submicroscópico, una sustancia está formada por partículas iguales	77,2	51,0	70,1	14,5	124,4
4	No confunden una mezcla y un compuesto a nivel submicroscópico	89,0	68,6	83,4	30,0	116,4
5	Reconocen una sustancia simple desde el punto de vista atómico	73,5	70,6	72,7	45,0	37,8
6	Reconocen que, a nivel macroscópico, un compuesto no tiene las mismas propiedades que los elementos que lo componen	57,3	51,0	55,6	17,0	63,9

* Media de los resultados de todos los estudiantes experimentales.

La cuestión 1 solicita a los estudiantes que elaboren un mapa conceptual que relacione los conceptos estudiados. El ítem 1a hace referencia a la clasificación de la materia en sustancias y mezclas. La tabla muestra que la mayoría de los estudiantes de los grupos experimentales (75,9%) respondieron correctamente mientras que el grupo de control sólo tuvo un 24% de aciertos, lo que representa una diferencia de porcentaje correcto de respuesta de más del 50% entre ambos grupos. Estos resultados son convergentes con los obtenidos en la pregunta 2, donde, como se muestra en la tabla 4, sólo el 18,5% de los estudiantes de control son capaces de determinar en un nivel macroscópico si la naftalina es sustancia o mezcla, frente al 69% de los estudiantes experimentales.

Por su parte, las respuestas al ítem 1b muestran que un promedio del 81,3% de los estudiantes de los grupos experimentales relacionan correctamente los conceptos de mezcla y compuesto, al considerar el compuesto como una clase de sustancia, sin supraordenarlo al de mezcla. Sin embargo, en el grupo de control, sólo el 42,2% lo hizo correctamente mientras el 41,1% subordinaba la palabra mezcla a compuesto. Podemos suponer que la falta de comprensión del concepto macroscópico de sustancia es la razón principal por la que casi la mitad de los estudiantes del grupo de control identifica mezcla y compuesto, como veremos después.

Los resultados anteriores son convergentes con los obtenidos en el ítem 4, formulado para determinar si reconocen una sustancia desde el punto de vista daltoniano. Para ello se les ofrece una representación corpuscular solicitando que indiquen los dibujos que pueden corresponder a una mezcla. La tabla 4 muestra que un promedio de 83,4%

de los estudiantes experimentales superaron la confusión entre mezcla y compuesto, frente al 30,0% de los estudiantes de control que, mayoritariamente, identificaron el compuesto con una mezcla en el nivel submicroscópico de representación.

La cuestión 3 nos permite determinar si los alumnos son capaces de reconocer una sustancia desde el punto de vista daltoniano (opciones A, C y D), pero también permite detectar otras dificultades. Por ejemplo, también se ha considerado que la respuesta es correcta si el alumno únicamente ha indicado las opciones C y D y además ha explicado que no había elegido la opción A porque representa el elemento químico, es decir, una sustancia abstracta (Scerri, 2008). Otra respuesta alternativa sería la de aquellos que eligen las opciones A y/o C, que reducen el concepto de sustancia a sustancia simple (que, para este tipo de respuesta, son también elementos). En este caso, no elegirían B o D por poseer átomos de dos elementos diferentes y considerarlos como mezclas o sustancias compuestas. A continuación, la tabla 6 ofrece los resultados completos obtenidos en el análisis de esta cuestión.

Casi el 70% de los estudiantes de los grupos de control identificaron los conceptos de sustancia y sustancia simple (o elemento) a escala submicroscópica, mientras que un porcentaje similar de alumnos (70,1%) en los grupos experimentales reconocieron que una sustancia está formada por un solo tipo de partículas. Debemos mencionar, no obstante, que casi la mitad de los estudiantes del grupo experimental E.2 (45,1%) también reducen el concepto de sustancia al de elemento, lo que demuestra la dificultad de conseguir que los estudiantes entiendan el concepto submicroscópico de sustancia.

Tabla 6

Resultados de la cuestión 3, respecto a lo que significa para los estudiantes la idea de sustancia desde el punto de vista atómico.

Categorías de respuesta	PORCENTAJES DE RESPUESTAS (%)			
	E.1 (N = 136)	E.2 (N = 51)	M*	Control (N = 200)
Respuestas correctas	77,2	51,0	70,1	14,5
Identificación entre sustancia y elemento	12,5	45,1	21,4	68,5
Otras respuestas	10,3	3,9	8,6	17,0

* M representa el valor promedio de los grupos de estudiantes experimentales.

Tabla 7

Porcentaje de respuestas a la cuestión 6 referente a cómo separar el S y el Fe en el FeS.

Categorías de respuesta	PORCENTAJES DE RESPUESTAS (%)			
	E.1 (N = 136)	E.2 (N = 51)	M*	Control (N = 200)
Descomposición térmica (**)	57,3	51,0	55,6	17,0
Separación física de los elementos combinados en el compuesto (respuestas a y b)	34,6	43,1	36,9	64,0
Otras respuestas y respuestas en blanco	8,1	5,9	7,5	19,0

** Respuesta correcta.

* M es el promedio de todos los estudiantes de grupos experimentales.

A continuación se ofrecen ejemplos de respuestas alternativas donde aparece esta dificultad de aprendizaje:

«A y C son sustancias, ya que están formadas por átomos de la misma sustancia» (grupo de control).

«Sólo tenemos una sustancia cuando todos los átomos son los mismos, sin mezclarse con ningún otro» (grupo de control).

Otro aspecto a destacar es el hecho de que los estudiantes experimentales proporcionan respuestas de mayor calidad, tales como la siguiente:

«C y D son sustancias, porque todas las moléculas son iguales, que es una característica de las sustancias. B no es sustancia porque no está compuesta de dos tipos de átomos (separados), ni tampoco lo es A, porque es un elemento y un elemento es una idea, no una sustancia» (grupo E1).

Este estudiante conceptualiza la sustancia como un material cuyas moléculas son idénticas, a la vez que justifica que B no es una sustancia porque las dos clases de átomos no están unidos formando moléculas iguales, sino separados (mezclados). Por otra parte, identifica la opción A como un elemento, diferenciándolo de una sustancia («un elemento es una idea»), a pesar de que, según el modelo atómico, A podría representar una sustancia formada por átomos aislados idénticos. Este tipo de re-

flexión no es habitual entre los estudiantes, ya que normalmente tienen una visión empirista del conocimiento científico.

Por último, el objetivo de la cuestión 6 era ver si los estudiantes utilizan el concepto macroscópico de sustancia en el contexto de una reacción química entre el Fe y el S, donde han de reconocer que la nueva sustancia formada, el FeS, posee unas características específicas diferentes a las de las dos sustancias elementales que lo componen.

A continuación, la tabla 7 presenta los porcentajes de explicaciones alternativas en las que se considera que el FeS mantiene las propiedades características de los dos elementos que lo componen, lo que significa que pueden ser separados por métodos físicos.

Como podemos ver, las diferencias entre los porcentajes de respuestas correctas entre los grupos experimentales y de control siguen siendo importantes (más del 35%), aunque un poco menores que en los ítems anteriores. Esto podría deberse al hecho de que los estudiantes tienen que utilizar la idea macroscópica de sustancia en el nuevo contexto, más complejo, de las reacciones químicas.

Es importante destacar que, aunque los grupos experimentales parecen entender la idea macroscópica de sustancia, como hemos visto en cuestiones anteriores, un poco más de la tercera parte muestran dificultades cuando el concepto tiene que ser aplicado a una reacción

química, lo que hace ver la necesidad de revisar la utilización del concepto de sustancia en la introducción de las reacciones químicas.

Resultados de las entrevistas

El análisis de las entrevistas (Anexo 2) permitió obtener resultados cualitativos. Con el fin de determinar si podían diferenciar una sustancia de una mezcla, se les ofreció una muestra de 12 materiales de uso cotidiano (una piedra, bicarbonato de sodio, azúcar, sal, cinc en polvo, carbón activo, agua, vino, alcohol etílico, ácido clorhídrico, aire y la llama de una vela encendida) y se les pidió que indicaran cuál o cuáles de ellos pensaban que era una sustancia.

A continuación, la tabla 8 ofrece la transcripción literal de las entrevistas con Ana (una estudiante del grupo control) y Guillem (un estudiante del grupo experimental). Ambas entrevistas son representativas de sus correspondientes grupos y únicamente han sido escogidas por ser las que se han extendido más en sus explicaciones.

Como se puede ver, la estudiante del grupo de control señala como sustancias las dos únicas sustancias simples de la muestra, como ocurrió con mayor frecuencia en el cuestionario. Es decir, Ana reduce la idea de sustancia a la de elemento químico (o sustancia simple), citando el cinc y el carbono, pero dejando fuera el resto por consi-

derarlos compuestos (línea 5). Al solicitarle la definición de sustancia (líneas 6 y 7) cambia de opinión, indicando que los compuestos son sustancias. Mas adelante (líneas 24 a 26), explicita los componentes que cree que forman el vino y deja claro, por tanto, que sabe que está formado por varias sustancias. Finalmente, define elemento (líneas 18 y 19) como algo «que no se mezcla con otro elemento». Por tanto, para Ana, son sustancias todos los materiales (incluidas las mezclas) excepto los elementos.

Guillem también comienza reduciendo la idea de sustancia a sustancia simple (líneas 5, 6), pero al pensar que los compuestos son también sustancias, reconsidera su respuesta. Aunque incluye la piedra entre sus opciones (tal vez desconoce su composición), hemos de hacer notar que no menciona el vino o el aire, por ejemplo. Al ser preguntado por qué creía que sus opciones eran sustancias (líneas 15, 16), no da una respuesta directa, sino que las opone al concepto de mezcla. Por otra parte, no considera que el fuego sea una sustancia (líneas 12, 13), por tratarse de materia en forma de plasma. El elemento lo define como «la sustancia más simple que hay, lo último» (líneas 22, 23), una respuesta que coincide con la de la mayoría de los libros de texto de Química en este nivel de escolaridad.

A continuación la tabla 9 ofrece un resumen de las diferencias encontradas entre los razonamientos de Ana y Guillem respecto a los objetivos principales de esta parte de la entrevista.

Tabla 8
Transcripción de parte de las entrevistas de Ana y Guillem.

	EXPLICACIÓN DE ANA, ALUMNA GRUPO CONTROL		EXPLICACIÓN DE GUILLEM, ALUMNO GRUPO EXPERIMENTAL
1	Entrevistadora: De todos esos materiales, ¿cuál o	1	Entrevistadora: De todos esos
2	cuáles consideras que pueden ser una sustancia?	2	materiales, ¿cuál o cuáles
3	Ana: El cinc en polvo y el carbón. Y ya está.	3	consideras que pueden ser una
4	E: ¿Por qué esos dos?	4	sustancia?
5	Ana: Porque son elementos. El resto son compuestos.	5	Guillem: El carbón... pero... ¿una
6	E: Entonces, si hubieras de explicar a un amigo qué es	6	sustancia simple o compuesta?
7	una sustancia, ¿qué le dirías?	7	E: Es igual, una sustancia.
8	Ana: No lo sé. Es que... sé lo que es, pero no sé	8	Guillem: El carbón, el alcohol, el
9	explicarlo. Además, creo que me he equivocado.	9	ácido clorhídrico, el óxido de
10	Vuelvo a responder la primera pregunta, ¿vale? Una	10	plomo, el bicarbonato, el cinc, el
11	sustancia son compuestos, pero... eso, los	11	agua destilada, el cloruro sódico, el
12	compuestos. Entonces, las sustancias serán el azúcar,	12	azúcar y la piedra. El fuego... si lo
13	bicarbonato, sal, agua destilada y vino.	13	consideramos como plasma, no, no
14	E: ¿Podrías indicarme alguna cosa que no sea una	14	es una sustancia.
15	sustancia?	15	E: ¿Por qué crees que éstas son
16	Ana: ¿Elemento?	16	sustancias?
17	E: ¿Qué es un elemento?	17	Guillem: Porque es un... no son
18	Ana: Un elemento, o sea, el cinc, una cosa que no está	18	mezclas y están formadas por
19	mezclada con otro elemento.	19	distintos elementos... juntos.
20	E: A ver. No recuerdo si habías dicho que el vino era	20	E: Cuando dices elemento, ¿a qué te
21	una sustancia o no.	21	refieres?
22	Ana: Compuesto, sí, sustancia.	22	Guillem: A una sustancia lo más
23	E: ¿Sabes de qué está formado?	23	simple que hay, lo último.
24	Ana: No. Bueno, de carbono, porque viene de la	24	
25	naturaleza, lleva azúcar, lleva alcohol y llevará la	25	
26	sustancia de la uva.		

Tabla 9
 Concepciones de Ana y Guillem respecto a la clasificación de los sistemas materiales.
 Diferencias ente mezcla y compuesto y concepto de elemento químico.

CONTENIDO CONCEPTUAL	RESPUESTAS DE ANA	RESPUESTAS DE GUILLEM
¿Cómo se clasifican los sistemas materiales en Química?	Los materiales se clasifican en: <ul style="list-style-type: none"> • Sustancias o compuestos (mezclas). • Elementos (material no mezclado). 	Los materiales se clasifican en: <ul style="list-style-type: none"> • Sustancias (simples y compuestas). • Mezclas de sustancias.
¿Es lo mismo una mezcla y un compuesto?	Sí. El vino es una sustancia o compuesto y también una mezcla de sustancias.	No. Una sustancia compuesta no es una mezcla («...pero está formada por distintos elementos juntos»).
¿Cómo se define un elemento químico?	Lo opuesto a una mezcla o compuesto. («Una cosa que no está mezclada con otro elemento».)	Lo opuesto a compuesto («Una sustancia lo más simple que hay, lo último»).

El análisis de los resultados obtenidos nos permite afirmar que el uso del modelo de enseñanza como investigación dirigida seguido por los estudiantes de los grupos experimentales les ha ayudado a adquirir más habilidades y un mejor conocimiento explicativo que el que poseen los estudiantes de los grupos de control.

CONCLUSIONES

Una proporción significativa de estudiantes tiene dificultades para comprender el concepto de sustancia y relacionarlo con el modelo atómico. Este trabajo intenta favorecer esa comprensión mediante el diseño e implementación de una secuencia de enseñanza. Para ello, situándonos en el marco general de aprendizaje basado en la resolución de problemas guiados mediante actividades de investigación, hemos desarrollado una guía que da significado al concepto de sustancia y ayuda a establecer conexiones entre el concepto macroscópico de sustancia definido por sus propiedades específicas (nivel macroscópico) y el modelo atómico que representa la sustancia (nivel submicroscópico).

El hecho de que los alumnos experimentales consigan un aprendizaje del concepto de sustancia más satisfactorio tras implementar el programa de actividades parece confirmar que los indicadores subrayados en la secuencia (Tabla 2) son relevantes para los propósitos marcados. Concretamente, conceptualizan macroscópicamente la sustancia como un material no mezclado con un conjunto de propiedades específicas constantes e invariables, lo que les ayuda a diferenciar entre mezcla y compuesto a nivel macroscópico. Por otra parte, en el nivel de representación atómica, la secuencia de enseñanza permite

que los estudiantes reconozcan una sustancia como un tipo de material que posee el mismo tipo de partículas a diferencia de la mezcla, que las tiene diferentes y en proporciones variables. De la misma forma, se llega a reconocer, a nivel macroscópico y microscópico, los conceptos de sustancia simple y compuesta, llegando a comprender el concepto de elemento como un conjunto de átomos idénticos.

Sin embargo, un análisis retrospectivo del trabajo permite encontrar algunos puntos débiles en el diseño, ya que los estudiantes todavía muestran problemas de comprensión tras la implementación de la unidad en algunos aspectos, como la diferenciación de los conceptos de sustancia y elemento. Por otra parte, también hemos constatado que la mayor parte de estudiantes experimentales pueden definir el concepto de sustancia tanto a nivel macroscópico como submicroscópico, pero tienen dificultades cuando han de analizar nuevos problemas usando los procedimientos característicos de la metodología científica, por lo que hay que incidir más en este aspecto.

Por último, creemos que se debe impulsar la tutorización de los profesores inexpertos para implementar este tipo de estrategias. Como se aprecia en los datos ofrecidos, los resultados del grupo experimental de la profesora tutorizada son similares a los del grupo de la coautora del artículo en la mayor parte de las cuestiones, aunque en algunas se aprecian diferencias, por lo que no podemos desestimar la importancia de la mediación del profesor en la clase. Por todo ello, consideramos que esta investigación es un intento en una dirección que puede ser fructífera para que los estudiantes aprendan los indicadores (Tabla 3) mostrados, pero debe ser implementada y confirmada por estudios más amplios de estudiantes y profesores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSSON, B. (1990). Pupils' Conceptions of Matter and its Transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, pp. 53-85.
- BEN-ZVI, R., EYLON, B. y SILBERSTEIN, J. (1986). Is an atom of copper malleable? *Journal of Chemical Education*, 63(1), pp. 64-66.
- CROCKER, A.C. (1969). *Statistics for the Teacher or how to put figures in their places*. Middlesex: Penguin Books.
- De VOS, W. y VERDONK, A.H. (1987a). A new road to reactions. Part 4. The substance and its molecules. *Journal of Chemical Education*, 64(8), pp. 692-694.
- De VOS, W. y VERDONK, A.H. (1987b). A new road to reactions. Part 5. The elements and its atoms. *Journal of Chemical Education*, 64(12), pp. 1010-1013.
- DOMÍNGUEZ, M.C. y FURIÓ, C. (2001). Knowing the history of science to understand students' difficulties with the concept of chemical substance, en Psillos, D. et al. (eds.). *Proceedings on the Third International Conference on Science Education Research in the knowledge Based Society*, pp. 365-367. Greece: Aristotle University of Thessaloniki.
- DOMÍNGUEZ, M. C., FURIÓ, C. y GUIASOLA, J. (2007). Learning from History and Philosophy of Science: Deficiencies in the teaching of the macroscopic concepts of substance and chemical change, en Roser Pintó y Digna Couso (eds.). *Contributions from Science Education Research*, pp. 249-259. Dordrecht: Springer.
- DRIVER, R. y OLDFHAM, V. (1985). A constructivist approach to curriculum development in Science. *Studies in Science Education*, 13, pp. 105-122.
- ERICSSON, K.A. y SIMON H.A. (1984). *Protocol analysis: verbal reports as data*. Cambridge, the MIT Press.
- FURIÓ, C., HERNÁNDEZ, J. y HARRIS, H. (1987). Parallels between adolescents' conception of gases and the History of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64(7), pp. 616-618.
- FURIÓ-MÁS, C. y DOMÍNGUEZ-SALES, M.C. (2007a). Problemas históricos y dificultades de los estudiantes en la conceptualización de sustancia y compuesto químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(2), pp. 241-258.
- FURIÓ-MÁS, C. y DOMÍNGUEZ-SALES, M.C. (2007b). Deficiencias en la enseñanza habitual del concepto macroscópico de sustancia y del cambio químico como cambio sustancial. *Journal of Science Education*, 8(2), pp. 84-92.
- GABEL, D. (1993) Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education* 70(3), pp. 193-194.
- GUIASOLA, J., FURIÓ, C. y CEBERIO, M., (2008). Science Education based on developing guided research, en Mary, V. Thomase (ed.). *Science Education in Focus*, pp. 173-201. Nueva York: Nova Science Publishers, Inc.
- JOHNSON, P.M. (2000a). Children's' understanding of chemical change: what should we be teaching? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1(1), pp. 77-90.
- JOHNSON, P.M. (2000b). Developing students' understanding of substances. Part 1. Recognising chemical change. *International Journal of Science Education*, 22(7), pp. 719-737.
- KLEIN, U. (1996). The chemical workshop tradition and the experimental practice: discontinuities within continuities. *Science in Context*, 9(3), pp. 251-287.
- LEACH, J. y SCOTT, P. (2002). Designing and Evaluating Science Teaching Sequences: An Approach Drawing on the Concept of Learning Demand and a Social Constructivist-Perspective on Learning. *Studies in Science Education*, 38, pp. 115-142.
- LEACH, J. y SCOTT, P. (2003). Individual and Sociocultural Views of Learning in Science Education. *Science & Education*, 12, pp. 91-113.
- LIJNSE, P. y KLAASSEN, K (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? *International Journal of Science Education*, 26(5), pp. 537-554.
- MEHEUT, M. (2004). Designing and validation two teaching-learning sequences about particle models. *International Journal of Science Education* 26(5), pp. 605-618.
- SANMARTÍ, N. (1989). Dificultats en la comprensió de la diferenciació entre els conceptes de mescla i compost. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.
- SCERRI, E. (2008). The Past and Future of the Periodic Table. *American Scientist*, 96, pp. 52-58.
- SOLSONA, N. e IZQUIERDO, M. (1998). La conservación del elemento, una idea inexistente en el alumnado de secundaria. *Alambique*, 17, pp. 76-84.
- STAVRIDOU, H. y SOLOMONIDOU, C. (1989). Physical phenomena-chemical phenomena: do pupils make the distinction? *International Journal of Science Education*, 11(1), pp. 83-92.
- STAVRIDOU, H. y SOLOMONIDOU, C. (1998). Conceptual reorganisation and the construction of the chemical reaction concept during secondary education. *International Journal of Science Education*, 20(2), pp. 205-221.
- WANDERSEE, J.H., MINTZES y NOVAK, J.D. (1994). Research on alternative conceptions in science, en Gabel D.L. (ed.). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, pp. 177-210. Nueva York: McMillan Publishing Co.
- WHITE, R. y GUNSTONE, R. (1992). *Probing Understanding*. Londres: The Falmer Press.
- ZEMBYLAS, M. (2005). Three Perspectives on linking the Cognitive and the Emotional in Science Learning: Conceptual Change, Socio-Constructivism and Poststructuralism. *Studies in Science Education*, 41, pp. 91-115.

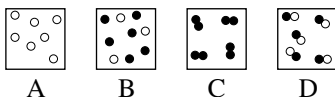
[Artículo recibido en noviembre de 2010 y aceptado en mayo de 2011]

ANEXO 1

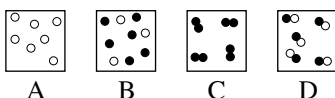
1. Haz un mapa conceptual, utilizando las siguientes palabras: heterogénea, azufre, compuesto (o sustancia compuesta), mezcla, sulfamán, aire, agua, sustancia simple, homogénea, materia, sustancia, cobre, leche, disolución, bicarbonato sódico. Utiliza todas las conexiones necesarias, **explicando en qué te basas** para establecerlas.

2. ¿Qué podrías hacer para saber si la naftalina (bolas blancas que se ponían antiguamente en los armarios para matar las polillas) es una sustancia o una mezcla? _____

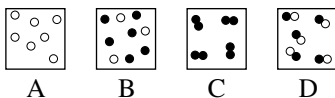
3. Los dibujos siguientes representan gases. Cada bolita simboliza un átomo y las del mismo color son átomos idénticos. Justificando tu respuesta, indica qué dibujos pueden representar una sustancia.



4. Los dibujos siguientes representan gases. Cada bolita simboliza un átomo y las del mismo color son átomos idénticos. Justificando tu respuesta, indica qué dibujos pueden representar una mezcla.



5. Los dibujos siguientes representan gases. Cada bolita simboliza un átomo y las del mismo color son átomos idénticos. Justificando tu respuesta, indica qué dibujos pueden representar una sustancia simple.



6. En el laboratorio, ponemos en un recipiente un poco de hierro y algo de azufre, ambos en polvo. Al calentar fuertemente obtenemos un sólido negro, el sulfuro de hierro. ¿Cómo crees que podríamos separar, en el sólido negro obtenido, el hierro del azufre?

- a) Con un imán potente podría separarse el hierro.
- b) Disolviendo el azufre con un disolvente y, después, separando por filtración.
- c) Calentando fuertemente el sulfuro de hierro hasta que se descomponga.
- d) No lo sé

Explica por qué has escogido esta respuesta _____ .

ANEXO 2

Modelo de entrevista

Clasificación de sistemas materiales

Se presenta al alumno una piedra, bicarbonato sódico, azúcar, sal, cinc en polvo, óxido de plomo, carbón, agua, vino, ácido clorhídrico, aire, alcohol etílico y la luz de una llama.

Prof1: De todas estas cosas, ¿cual o cuáles piensas que pueden ser una sustancia?

P2: ¿Por qué crees que ésas son sustancias?

P3: Si te dieran un producto y hubieras de determinar en el laboratorio si se trata o no de una sustancia, ¿cómo lo harías?

P4: ¿Podrías indicar alguna cosa que no sea una sustancia? ¿Por qué piensas que no lo es?

P5: Imagina que se pudiera ver una sustancia a nivel submicroscópico, ¿puedes dibujar lo que verías?

P6: ¿Qué entiendes por elemento?

2. Experiencia de la descomposición del azúcar: Se introduce un poco de azúcar en un tubo de ensayo y se calienta. Se pide al alumno que explique lo que ocurre desde el principio hasta que todo el azúcar se carboniza.

P5: ¿Puedes explicar lo que está pasando?

P6: ¿Qué es lo que sale?

P7: ¿De dónde piensas que ha salido el gas?

P8: El gas no salía del tubo antes de la experiencia, ¿por qué antes no salía?

P9: ¿Qué crees que es lo que ha quedado en el fondo del tubo?

P10: ¿Podrías hacer un dibujo que represente las partículas del azúcar antes de quemarlo?

P11: Teníamos azúcar, que ha desaparecido, y, en cambio, ha salido mucho humo y ha quedado carbón al fondo del tubo de ensayo. ¿Cómo lo explicas?

P12: ¿Qué tipo de sustancia piensas que puede ser el azúcar, simple o compuesta? ¿Por qué?

Design and implementation of a teaching sequence to introduce the concepts of chemical substance and compound

FURIÓ-MÁS, CARLES¹; DOMÍNGUEZ-SALES, MARÍA CONSUELO¹ y GUIASOLA, JENARO²

¹ Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials, Universitat de València

² Departamento de Física Aplicada, Universidad del País Vasco

carles.furio@uv.es

consuelo.dominguez-sales@uv.es

jenaro.guisasola@ehu.es

Summary

The aim of this work is to develop a teaching-learning sequence in order to facilitate secondary education students to understand the concepts of substance, elementary substance and compound. To devise this sequence a previous historical analysis has provided us with the main overcome of epistemological difficulties and the arguments used to construct the new concepts and the explanatory models. This knowledge is taken into account to select the contents to teach while it also allows organize the line of thoughts for developing the subject and preventing the appearance of the main difficulties and alternative students conceptions in this domain.

As a prelude to studying the unit, students should know the corpuscular-kinetic model of matter and its application to the study of solids, liquids and gases. The unit itself pursues the understanding of the macroscopic concept of substance and the use of specific properties to identify them and distinguish them from mixtures. Then the macroscopic study of synthesis and decomposition reactions facilitates the understanding of the empirical concepts of elementary and compound substances. Again, the analysis of the macroscopic properties helps to discriminate between a mixture and a compound. Finally, the atomistic interpretation provides a model that introduces the key concept of chemical element to explain the huge diversity of existing materials. Each element is considered to be as a set of identical atoms and the bonding of atoms of one element with atoms from the same or a different element can explain all the elements and compounds known. This model explains the differences between a mixture and a substance (emphasizing the differences between mixture and compound) and the possibility of decomposing a compound into simpler substances. It also justifies some specific properties of substances, such as its fixed composition. So the combination of about a hundred of chemical elements can explain the composition of every existing material.

The teaching sequence has been designed as an activities program in which the teaching strategies introduced aim to enable students to acquire the necessary skills to overcome the detected difficulties. This involves a creative integration of learning difficulties and ontological issues. To do so, activities are offered as a problematized structure, whose solving calls for students to learn the contents, reason about the specific subject being taught

and add new knowledge and values to those they already possess.

Work in class has been developed with students organized in small groups discussing the activities, evaluating their initial ideas and generating new ones. In this context, the teacher's role changes from the traditional model because, as students discuss, he walks among them interacting with the different groups, prompting questions to focus on the issues and offering new perspectives.

The effectiveness of the sequence has been evaluated through a comparative study between groups of students who have used it in class and groups that having the same learning objectives have followed a traditional teaching method. Data were obtained from a questionnaire and an interview that have offered qualitative and quantitative results, covering most of the planned contents. Statistical analysis was carried out using the chi square parameter (χ^2), which fits the best when working with discrete variables. The obtained values for χ^2 are much higher than those provided by contingency tables in all the items, which indicates a significant association between the teaching method and the learning outcomes.

In summary, the obtained results show that the content selection and strategies used in these constructivist oriented teaching sequence provides students with a greater capacity for analysis and a deeper understanding of the concepts studied. In particular we see that they can macroscopically conceptualize a substance as a non-mixed material with a set of specific constant and unchanging properties, which helps them to differentiate between a mixture and a compound at macroscopic level. Besides, in the atomic level of representation, they can recognize a substance as a material which has the same kind of particles as opposed to a mixture which is formed by different particles in changeable proportion. Likewise, we come to recognize, at macroscopic and microscopic level, the concepts of element and compound, coming to the understanding of the concept of chemical element as a set of identical atoms that can be linked to form even the most complex molecules.

However, further studies should be made regarding different aspects of this work in which some understanding difficulties remain, for example the concepts of substance and element when new problems have to be analyzed using the characteristic methods of scientific methodology.

