

riches the discussion until arriving at a consensual version of it. In this process, in which everyone would concede in face of the arguments of the others, the knowledge, impressions, didactic and evaluation strategies from all the participants could be summed up. Nevertheless, one can make the analysis by also using the individual CoRes. Another useful idea is to ask teachers to repeat the exercise of answering the CoRe questions, but now with the central ideas gotten by consensus in a group session. In this way, all the individual CoRes would then be headed by the same set of central ideas, which would make much more comparable the set of individual CoRes.

On the other hand, PaP-eRs discover the precision of the way a teacher acts in the classroom, and can be recovered with his or her primary notes, complemented afterwards with those of the researchers during class observations and interviews. The PaP-eRs show clear examples of what teachers with a developed PCK may present in action with their students. It is important to note that one PaP-eR alone is not enough to depict the complexity of the knowledge around a given content, but showing a collection of PaP-eRs of CoRe related areas becomes crucial to enhance some of the different mixed ingredients of PCK in the field.

The third conclusion is that, although central ideas expressed in the consensus CoRes by the three groups of Latin-American teachers were strictly different, that does not imply that one of them is the correct or the better one, because as MULHALL, BERRY & LOUGHRAN (2003) state it there may be more than one valid CoRe for each topic. If we would try to arrive at a single consensus CoRe of the 16 Latin-American teachers, perhaps several PCK's features, mainly those of local importance, would have disappeared along the way.

The fourth and final conclusion is that we have made evident the presence of constructivist and inquiry type of approaches in IEMS' CoRe; the STS focus and the profound knowledge of alternative conceptions in MADEMS' teachers; and the problem solving, the relationships among different scientific concepts and its applications, and preparation to work emphasis in NEP's. The authors of this study might now assert that PCK is evidence of the emphasis given in the curriculum and of the professional background of the teachers. A final implication could be that it is very important for teachers' training activities to consider the curricular emphasis and the pedagogical orientations, due to its influence in the development of PCK and of pedagogical knowledge regarding instruction of high order thinking (ZOHAR, 2004).

BIBLIOGRAPHY

- CLIS WIGHTMAN, T.; JOHNSTON, K. & SCOTT, P. *Children's' learning in science project. Approaches to teaching the particulate theory of matter*. Leeds, England: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, 1987.
- DE JONG, O. & VAN DRIEL, J.H. Exploring the development of student teachers' PCK of the multiple meanings of chemistry topics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 477-491, 2004.
- DE JONG, O.; VAN DRIEL, J.H. & VERLOOP, N. Preservice Teachers' Pedagogical Content Knowledge of Using Particle Models in Teaching Chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 42, (8), 947-964, 2005.
- DE JONG, O.; VEAL, W.R. & VAN DRIEL, J.H. Exploring Chemistry Teachers' Knowledge Base. In J.K. Gilbert *et al.* (eds.). *Chemical Education: Towards Research-based Practice*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. Chapter 16, 369-390, 2002.
- GESS-NEWSOME, J. & LEDERMAN, N.G. (eds.). (1999). *Examining Pedagogical Content Knowledge*. Dordrecht/Boston: Kluwer.
- LOUGHRAN, J.; MULHALL, P. & BERRY, A. In search of pedagogical content knowledge in science: developing ways of articulating and documenting professional practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 370-391, 2004.
- MAM (1988). BERKHEIMER, G.D.; ANDERSON, C.W. & BLAKESLEE, T.D. With the assistance of Lee, O., Eichinger, D. & Sands, K. *Matter and Molecules, Teacher's and Student's Science Book and Activity Book*, The Institute for Research on Teaching, College of Education, University of Michigan State, USA. Available in the URL: <http://ed-web3.educ.msu.edu/reports/matter-molecules/>
- MULHALL, P.; BERRY, A. & LOUGHRAN, J. (2003). Frameworks for representing science teacher's pedagogical content knowledge. *Asia Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, Volume 4, Number 2, in the following URL (consulted the last time on August 18th, 2006): http://www.ied.edu.hk/apfslt/v4_issue2/mulhall/index.htm#contents.
- SHULMAN, L.S. Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15, 4-14, 1986.
- SHULMAN, L.S. Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57, (1), 1-22, 1987.
- ZOHAR, A. Elements of Teachers' Pedagogical Knowledge Regarding Instruction of Higher Order Thinking. *Journal of Science Teacher Education*, 15, (4): 293-312, 2004.

Received 8.11.2006 / Approved 6.03.2007

Deficiencias en la enseñanza habitual de los conceptos macroscópicos de sustancia y de cambio químico

Usual teaching deficiencies when explaining the macroscopic concepts of substance and chemical change

C. FURIÓ, M.C. DOMÍNGUEZ

Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials, Universitat de València, Alcalde Reig, 8, Valencia, Spain
carles.furio@uv.es

Resumen

La investigación en didáctica de las ciencias ha mostrado que los estudiantes tienen importantes dificultades en la comprensión de los conceptos de sustancia, sustancia compuesta y cambio químico. En este trabajo pretendemos ver si estas dificultades conceptuales también se presentan en la enseñanza habitual de la química. Para ello se ha llevado a cabo un diseño múltiple y convergente mediante encuestas a muestras de profesores de física y química de secundaria en formación y en activo y una red de análisis de 27 ítems aplicada a más de un centenar de libros de texto. Los resultados encontrados muestran que la enseñanza no da importancia a la definición operacional (macroscópica) de sustancia, no explicita las diferencias macroscópicas y microscópicas entre sustancia compuesta y mezcla de sustancias simples y, olvida la introducción del concepto de elemento químico, que permite explicar la conceptualización macroscópica de reacción química como cambio sustancial.

Palabras clave: deficiencias macroscópicas, enseñanza, sustancia, compuesto

Abstract

Research in Science Education has pointed out that students have significant difficulties to understand the concepts of substance, compound substance and chemical

change. The aim of this work is to find out whether these conceptual difficulties are present in the usual teaching of Chemistry, too. To do this, a multiple and convergent design has been carried out. It is composed of some questionnaires given a sample of different physics and chemistry secondary teachers and a data network with 27 items applied to more than a hundred textbooks. Results found show that teaching gives no importance to the operational macroscopic definition of substance, nor makes explicit the macroscopic and microscopic differences between a compound and a mixture of simple substances; and forgets the introduction of the concept of chemical element which permits to explain the macroscopic conceptualisation of a chemical reaction as a substantial change

Key words: macroscopic deficiencies, teaching, substance, compound.

INTRODUCCIÓN

La investigación en didáctica de las ciencias ha mostrado en los últimos años un interés especial por el tema de la estructura de los materiales y las transformaciones de unas sustancias en otras, como se pone de manifiesto en la gran cantidad de artículos escritos al respecto, entre los que podríamos mencionar los referentes a la dificultad para diferenciar entre material y

objeto (KRNEL *et al.*, 2005), la identificación entre los conceptos de sustancia química y material a nivel macroscópico (SOLOMONIDOU & STAVRIDOU, 2000), la identificación entre “sustancia pura” y elemento químico (SANMARTÍ, 1989; LORENS, 1991), las dificultades para comprender los tres niveles de representación macroscópica, microscópica y simbólica de las sustancias (ANDERSSON 1990, BEN-ZVI *et al.*, 1986 y 1988, DRIVER 1985, GABEL, 1993 y 1998, JOHNSTONE, 1991a y 1991b, 1993), o las dificultades para diferenciar entre mezcla y compuesto (SANMARTÍ, 1989). También se ha dedicado gran atención a los problemas relativos al aprendizaje de las reacciones químicas. A nivel microscópico, se ha puesto de manifiesto que la falta de comprensión del modelo corpuscular dificulta la comprensión de la reacción química (BEN-ZVI *et al.*, 1987, de VOS y VERDONK, 1985 a y b, 1987a y b, SOLOMONIDOU y STAVRIDOU, 1987 y 1994), mientras que, a nivel macroscópico, se ha observado que el alumnado no posee puntos de referencia concretos para determinar cuándo tiene lugar una reacción química. Los estudiantes consideran que la reacción química se produce cuando el cambio es drástico e irreversible (STAVRIDOU & SOLOMONIDOU, 1989), o bien que los fenómenos naturales son físicos y los artificiales químicos (SOLOMONIDOU & STAVRIDOU, 1994). En general, sus dificultades para comprender los cambios químicos son muy diversas (YILMAZ & ALP, 2006), habiéndose categorizado las mismas (Andersson, 1990), al tiempo que se ha mostrado que la comprensión del concepto de sustancia es fundamental para entender los cambios químicos (VOGELEZAND, 1987; SOLOMONIDOU & STAVRIDOU, 2000; DOMÍNGUEZ & FURIÓ, 2001; JOHNSON, 2002). En concreto, podemos afirmar que las principales dificultades de comprensión de los estudiantes respecto de los conceptos básicos de química son (DOMÍNGUEZ, 2004):

- La falta de comprensión del concepto macroscópico de sustancia, que les lleva a confundir materiales (materia, en general) con sustancias.
- Identificar microscópicamente el concepto de sustancia “pura” con el de sustancia simple y elemento químico.
- Tener dificultades para diferenciar macroscópica y/o microscópicamente los conceptos de mezcla y compuesto.
- Falta de criterios macro y/o microscópicos para distinguir una reacción química de un proceso físico.

Si el profesorado conoce previamente las dificultades en forma de obstáculos conceptuales, epistemológicos y procedimentales que se presentan al alumnado, puede organizar la secuencia de contenidos de forma que les ayude a superarlas, ya que, si no se hace así, la propia enseñanza puede actuar implícitamente como obstáculo en la eficacia del proceso (FURIÓ, 1994). Pero, para ello, el profesor ha de conocer suficientemente la materia a enseñar, por lo cual, no basta con tener una idea actual de los conceptos científicos sino que, además, ha de conocer su evolución histórica. En este trabajo se centra la atención en el análisis de las posibles dificultades que se pueden presentar en la enseñanza habitual de los conceptos macroscópicos de sustancia y de reacción química como cambio sustancial. En particular, los objetivos del trabajo han sido responder las siguientes cuestiones:

- ¿Qué ideas transmite, explícita o implícitamente, la enseñanza tradicional sobre los conceptos de sustancia, mezcla, compuesto y cambio químico?
- ¿Hasta qué punto estas ideas están de acuerdo con las definiciones aceptadas por la comunidad científica?
- ¿Existe alguna relación entre la comprensión de estos conceptos por parte del profesorado y la falta de conocimientos históricos respecto de los problemas que originaron su introducción?

CONCEPCIONES DEL PROFESORADO RESPECTO DE LOS CONCEPTOS MACROSCÓPICOS DE SUSTANCIA, COMPUESTO Y REACCIÓN QUÍMICA

La enseñanza no concede gran importancia a las dificultades detectadas por la investigación didáctica puestas de manifiesto en el apartado anterior, en particular al concepto de sustancia en los niveles macro y microscópico de representación de la materia. Históricamente, los químicos paracelsianos (alquimistas) y los filósofos mecánicos fueron introduciendo el concepto operacional de sustancia a nivel macroscópico definiéndolo, en contraposición a las mezclas, como aquel “cuerpo puro” que posee un conjunto de propiedades fijas y específicas que permiten su reconocimiento. Más adelante, la teoría atómica clásica proporcionó una hipótesis desde el punto de vista microscópico, que explicaba la constancia de las propiedades en todos sus puntos, suponiendo la sustancia como un cuerpo que posee todas sus partículas iguales.

La falta de énfasis en la explicación del concepto de sustancia desde ambos puntos de vista, generará problemas en la comprensión de las reacciones químicas, de la misma forma que, históricamente, no se pudo construir los conceptos de compuesto y reacción química sin comprender

en primer lugar qué era una sustancia. En trabajos anteriores (DOMÍNGUEZ, 2004; FURIÓ & DOMÍNGUEZ, 2006) se ha mostrado que las dificultades de los estudiantes en la comprensión de estos conceptos presentan cierto isomorfismo con algunas de las que se tuvieron que superar históricamente para llegar a la elaboración de los mismos. El currículo de las diversas asignaturas (en concreto la química) que se estudian en las universidades, no incluye aspectos relacionados con la historia del origen y evolución de los conceptos, por lo que es de suponer que los futuros profesores, así como los profesores en activo, las desconocerán y, por ende, también serán ignorados en la enseñanza secundaria y el bachillerato. Por todo ello, proponemos como hipótesis de trabajo que la enseñanza convencional:

- No tendrá en cuenta los aspectos actitudinales y los intereses de los alumnos, circunstancia que se pondrá de manifiesto en la ausencia de planteamientos de situaciones problemáticas abiertas que intenten explicar la composición química y la diversidad de los materiales presentes en la naturaleza.
- Presentará deficiencias metodológicas, como, por ejemplo, centrarse en la transmisión verbal de conocimientos, sin realizar una reflexión profunda sobre su significado, buscando como objetivo fundamental la asimilación receptiva de los conceptos y teorías (GIL, 1983), sin tener en cuenta las ideas previas y, en particular, las concepciones alternativas de los estudiantes, puestas de manifiesto por la investigación didáctica.
- Presentará deficiencias de tipo conceptual y epistemológico en el hilo conductor que lleva al desarrollo de los contenidos, entre las que podríamos destacar:
 - Uso ambiguo de la palabra sustancia, llegando a utilizar incluso diferentes significados, según el contexto de uso, como material, producto o mezcla. En concreto, no se introducirá explícitamente el concepto macroscópico de sustancia, opuesto al de mezcla y definido por un conjunto de propiedades específicas que la caracterizan. Respecto a la consideración microscópica del concepto de sustancia, no se presentará como un sistema material formado por innumerables partículas iguales entre sí en masa o en volumen. Es decir, no se presentará la hipótesis atómica como una necesidad para clarificar los conceptos adquiridos y, sobre todo, como herramienta útil para explicar el comportamiento y propiedades de las sustancias.

Tampoco se relacionarán adecuadamente los dos niveles macroscópico y microscópico de representación al tratar de justificar las propiedades con la estructura submicroscópica. Al no diferenciar estos dos niveles de representación se llega fácilmente a consideraciones incorrectas como, por ejemplo, si los estudiantes consideran que la partícula es una pequeña parte de la sustancia, es lógico suponer que se extrapolen las propiedades de la sustancia a sus partículas.

Muy posiblemente la enseñanza no pondrá énfasis en la definición macroscópica de sustancia simple como el producto final del análisis de una sustancia compuesta, como afirmó en su momento Lavoisier. Además, se tenderá a introducir equivocadamente el concepto de elemento químico como el de sustancia simple. Ello puede inducir a los estudiantes a no diferenciar entre la mezcla de las sustancias simples con las que se ha formado el compuesto y el mismo como resultado de la combinación de los elementos.

- No se ofrecerá una definición macroscópica del concepto de elemento químico, como el sistema material básico que se conserva en los cambios químicos y permite establecer una relación macroscópica entre los reactivos y los productos del proceso químico. Tampoco aportará una interpretación microscópica del elemento químico en el contexto de la hipótesis atómica, como un sistema material ideal formado por un conjunto de átomos iguales entre ellos y sin estructura molecular, para evitar su identificación con el concepto de sustancia simple.
- Por último, suponemos que no se introducirá explícitamente la definición macroscópica del cambio químico como proceso que da lugar a nuevas sustancias, que no pueden ser cualesquiera, sino que han de estar relacionadas con las iniciales mediante la conservación de los elementos que forman las sustancias que reaccionan (saliendo al paso de la idea de la transmutación que tantos fracasos proporcionó a los alquimistas).

Tampoco se enfatizará el significado microscópico de la reacción química como una redistribución de los átomos presentes originalmente en los reactivos, ni se establecerán relaciones entre este nivel de definición y el macroscópico. Por el contrario, la enseñanza tratará de centrar la atención en desarrollar los aspectos cuantitativos de las reacciones sin previamente incidir en su significado cualitativo.

Finalmente, no se establecerán explícitamente las diferencias macro y

microscópicas entre el cambio físico y el químico (Furió *et al.*, 1994) clarificando que, en el cambio físico las sustancias permanecen, mientras en el cambio químico unas sustancias desaparecen y aparecen otras a partir de la transformación de las sustancias iniciales.

DISEÑOS EXPERIMENTALES Y MUESTRAS ANALIZADAS

El objetivo del trabajo es conocer tanto las ideas del profesorado como las que se muestran en los libros de texto respecto de los conceptos de material, sustancia, sustancia simple y compuesta. Asimismo, pretendemos determinar qué prerrequisitos conceptuales son considerados por el profesorado al abordar el estudio de las reacciones químicas, a qué dificultades específicas de los estudiantes dan importancia y en qué medida tienen en cuenta la superposición de los niveles de representación macro y microscópico de aquellos conceptos. Por último, se tratará de analizar la presencia de posibles dificultades entre el propio profesorado respecto de los niveles macro y microscópico del concepto de sustancia.

Para probar la validez de nuestras hipótesis, se ha elaborado un diseño múltiple y convergente, que aborda los mismos aspectos desde diferentes puntos de vista para analizar la coherencia interna de los resultados obtenidos, al tiempo que trata de relacionar las dificultades de aprendizaje con las deficiencias de la enseñanza. Más concretamente, las pruebas llevadas a cabo son las siguientes:

a) El cuestionario C.1, formado por dos preguntas abiertas (véase anexo I). Se trata de una encuesta dirigida a profesores en formación, que ha sido respondida por 78 estudiantes de 4º y 5º curso de las carreras de química y de física, que habían elegido como optativa la asignatura de las ciencias fisicoquímicas. Ambas cuestiones eran similares a otras que se habían pasado a estudiantes de secundaria y bachillerato.

b) El segundo cuestionario, C.2, consta de cinco puntos, de los que, en este trabajo, sólo se analizan los ítems Q1 y Q2 (véase anexo II). Ha sido respondido por un total de 88 licenciados en física o química, de los cuales 39 estaban realizando un curso para profesores en formación (CAP) y 49 eran profesores en activo con diferentes años de experiencia.

c) En tercer lugar, se ha utilizado una redacción (R1), obtenida de los ejercicios realizados en un concurso-oposición para profesores de física y química de bachillerato. Dichos trabajos, al igual que las respuestas obtenidas en C.1 y C.2, se han utilizado con absoluto respeto hacia los participantes, manteniendo su anonimato y únicamente para la finalidad didáctica que se persigue. El tema sobre el que escribieron estaba centrado, fundamentalmente, en “Sistemas materiales. Mezclas, sustancias puras y elementos. Transformaciones físicas y químicas. Procedimientos de separación de los componentes de una mezcla y de un compuesto”, y ha sido desarrollado por un total de 42 profesores en activo. Dada la trascendencia del contexto, la consideramos una prueba de especial relevancia, por suponer que, los participantes han puesto todo su empeño para realizarla correctamente, manifestando todo lo que sabían al respecto.

d) Por último, considerando que el profesorado se apoya fundamentalmente en los libros de texto, como material más utilizado en las aulas, se ha intentado determinar qué visión ofrecen los mismos de los conceptos que estamos analizando. Para ello se ha elaborado un protocolo de análisis (P1), formado por 27 ítems, que se muestra en el anexo III. Dicho protocolo se ha aplicado a una extensa muestra de 109 libros de texto españoles, elegidos entre los más utilizados por el profesorado. Por niveles educativos, hay 38 de 3º ESO, 26 de 2º BUP, 28 de 1º de bachillerato y 17 de química de COU. No aparece ninguno de 2º de bachillerato por no coincidir su currículo con los aspectos que estamos tratando.

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas, organizados en tres secciones. La primera de ellas hace referencia al concepto de sustancia, tanto a nivel macroscópico como microscópico y su diferenciación respecto de las mezclas. Seguidamente veremos cómo trata la enseñanza la diferenciación entre los conceptos de mezcla y compuesto y, por último, analizaremos cómo se presenta el estudio de las reacciones químicas, en los dos niveles de representación macroscópico y microscópico.

Diferenciación entre sustancia y mezcla

Comenzaremos mostrando los resultados obtenidos en el ítem 2 del cuestionario 1 para profesores en formación cuyo enunciado es el siguiente:

Un alumno ha realizado el siguiente mapa conceptual para hacer una revisión de la teoría atómica de la materia. Comenta las dificultades conceptuales que pienses que puede tener, a partir del análisis del mapa.

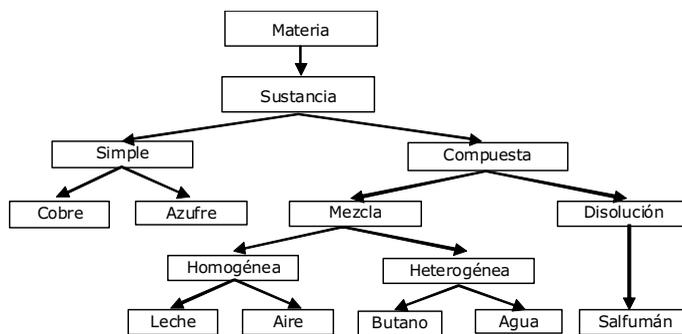


Figura 1. Mapa conceptual elaborado por un alumno, que se ha presentado, para su corrección, a profesores en formación.

El objetivo de la cuestión es averiguar si los futuros profesores se dan cuenta de los errores contenidos en el mapa conceptual. En concreto, se espera que hagan patente que el mapa considera explícitamente que material es lo mismo que sustancia, al tiempo que, en él, se identifica, erróneamente, mezcla y compuesto ya que las mezclas y las disoluciones aparecen como dos tipos de compuestos. En la tabla 1 se presentan los resultados relativos a la diferenciación entre materia y sustancia de una muestra de 28 profesores en formación que cursaban la asignatura optativa de didáctica de las ciencias en la carrera de química.

Tabla 1
Resultados referentes a la identificación entre materia y sustancia en profesores de física y química en formación

Categorías de respuesta	4º y 5º Químicas (N=28) %
Realizan un análisis correcto	21,4
No hacen referencia a la identificación entre materia y sustancia	60,7
Inciden explícitamente en el error, identificando materia y sustancia	17,9

La tabla 1 muestra que, a pesar de tratarse de estudiantes de los últimos cursos de la licenciatura de químicas, sólo un 21,4% de los encuestados mencionan que el mapa identifica erróneamente los conceptos de materia y sustancia. En cambio, un 60,7% de los mismos no hace ninguna mención al respecto, indicando con ello que el error no es significativo para ellos, bien por no haberse dado cuenta, bien porque, a sus ojos, se trata de una identificación correcta. A título de ejemplo de valoración de aquellos que no salen al paso de la identificación entre materia y sustancia por acción o por omisión, incluimos la respuesta de uno de estos profesores en formación:

• *La elección de palabras a ordenar en el ejercicio no me parece adecuada. Creo que faltan términos muy básicos y definidos, como “elemento” y, en cambio, abundan términos muy generales (demasiado generales, en mi opinión), como materia y sustancia, que tienen incluso acepciones diferentes según el contexto, especialmente el término sustancia.*

La redacción de la respuesta deja patente que el futuro profesor acepta que el concepto de sustancia se puede utilizar con diferentes acepciones según el contexto, omitiendo decir cuáles son, aunque afirmando que se trata de términos muy generales.

A continuación mostramos los resultados obtenidos en el tercer diseño (R1) que, como hemos dicho, consistió en una redacción, sobre el tema titulado:

“La estructura de los materiales. Métodos de separación de los sistemas materiales. Sistemas materiales. Mezclas, sustancias puras y elementos. Transformaciones físicas y químicas. Procedimientos de separación de los componentes de una mezcla y de un compuesto. Lenguaje químico: normas IUPAC”.

Para efectuar la correspondiente valoración, las redacciones escritas se han analizado por dos investigadores para cuantificar los resultados de los

aspectos relativos a los conceptos de material y sustancia que se indican en la tabla 2.

Tabla 2
Deficiencias conceptuales encontradas en las redacciones del profesorado (N=42) referentes a la definición macroscópica de sustancia y su diferenciación de mezcla o material en general

Concepto considerado	Porcentaje de profesores (N=42)
No explicita la definición operacional (macroscópica) de sustancia	88,1
No ofrece, a nivel macroscópico, las diferencias entre mezcla (material en general) y sustancia (cuerpo puro con propiedades características constantes y definidas)	92,9
Identifica explícitamente material con sustancia	26,2

Como queda de manifiesto en la tabla 2, la mayor parte de los participantes no hace énfasis en el concepto de sustancia, ni lo diferencia del más general de material. Mención especial merecen los casos en los que se han identificado explícitamente materia y sustancia (26,2%), de los que exponemos sólo dos ejemplos:

- *La materia es toda sustancia que tiene una masa determinada. Las sustancias puras son aquellas que presentan las mismas propiedades físicas y químicas. [...] Las mezclas son sustancias constituidas por otras más simples.*
- *Definición de mezcla: es una sustancia formada por más de un elemento. Pueden existir mezclas homogéneas y heterogéneas.*

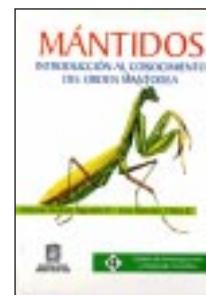
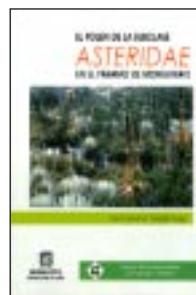
En estos dos casos se aprecia una cierta similitud de pensamiento según el cual “materia es toda sustancia” y “las mezclas son sustancias” como afirma el primer ejemplo, o bien “mezcla: es una sustancia...”, como dice el segundo. En ambos párrafos se trata de afirmaciones hechas desde el punto de vista macroscópico, en referencia a las propiedades, en un caso, o a la distinción entre mezclas homogéneas y heterogéneas en el otro. A continuación, se inicia un discurso en el que afirman que “las mezclas son sustancias formadas por otras más simples” o “mezcla: es una sustancia formada por más de un elemento”, poniendo de manifiesto unas ideas que recuerdan a la teoría aristotélica según la cual todos los materiales estaban formados por mezclas de elementos.

Para finalizar el estudio de las deficiencias de la enseñanza respecto a los conceptos de mezcla y sustancia, mostraremos los resultados obtenidos en el tercer diseño (P1), en el que se analizó el contenido de 109 libros de texto de ESO, bachillerato, BUP y COU. En este apartado nos limitaremos a los primeros 10 ítems de la red de análisis (anexo III). La tabla 3 muestra los resultados, que reflejan deficiencias respecto al concepto de sustancia, similares a las encontradas en los diseños anteriores donde han participado profesores.

Tabla 3
Deficiencias conceptuales referentes a los conceptos de sustancia y mezcla encontradas en el análisis de libros de texto (N=109)

Cuestiones consideradas en la red de análisis	3º ESO N=38 %	2º BUP N=26 %	1
1.- No introduce el problema a estudiar (composición de materiales) como una situación problemática que interesa resolver	94,7	84,6	
2.- No introduce la noción macroscópica de sustancia como sistema material o cuerpo puro que tiene un conjunto de propiedades características	65,8	69,2	
3.- No diferencia empíricamente sustancia y mezcla a partir de las propiedades del sistema material en cuestión.	63,2	65,4	
4.- No utiliza las propiedades específicas como método para caracterizar y también, separar las sustancias	92,1	96,2	
5.- No expone que en los cambios físicos las sustancias no cambian	76,3	84,6	
6.- No presenta la sustancia desde el punto de vista microscópico, como sistema formado por muchas partículas iguales en masa	94,7	88,5	
7.- No presenta microscópicamente el concepto de mezcla según la teoría atómica	92,1	96,2	
8.- No hace referencia al contexto histórico en el que se desarrolló el concepto de sustancia (siglos XVI al XVIII)	81,6	92,3	
9.- No hace referencia a que los estudiantes identifican el concepto de sustancia con la idea más general de material (que casi siempre es una mezcla)	100,0	100,0	
10.- No hace referencia a que el alumnado identifica, a nivel microscópico, sustancia y sustancia simple, es decir, átomos aislados o moléculas formadas por átomos iguales	100,0	100,0	

**PUBLICACIONES DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO CIENTÍFICO**



Aquí, los datos son concluyentes, mostrando una ausencia casi total de la construcción histórica del concepto de sustancia, así como de aspectos que busquen favorecer el interés del estudiante. Por otra parte, la mayor parte de textos ignora la introducción macroscópica y microscópica del concepto de sustancia, así como su diferenciación de las mezclas en ambos niveles de representación.

A continuación, mostramos un ejemplo de introducción del término sustancia en el que se puede apreciar, tanto la falta de definición de la misma, como se induce el solapamiento entre este concepto y el de material:

“Como ya hemos señalado en unidades anteriores, el universo está formado por materia y energía. La materia, además de otras propiedades, posee masa, volumen y carga eléctrica y está constituida por partículas (átomos, moléculas e iones).

En la naturaleza es posible distinguir diversos tipos de materia, que se denominan sustancias. Las sustancias se pueden reconocer por las propiedades.

Una de las primeras propiedades que observamos en las sustancias es el estado físico. El estado físico depende del estado de agregación de las partículas que forman la sustancia. A temperatura ambiente una sustancia puede ser sólida, líquida o gaseosa.” (SATOCA et al., pp. 198).

Diferenciación entre los conceptos de mezcla y compuesto

Uno de los errores conceptuales cometidos en el mapa de la figura 1 (Q1), era la clasificación de las sustancias compuestas en mezclas y disoluciones, es decir, en él se identificaba explícitamente el compuesto con cualquier tipo de mezcla homogénea o heterogénea. En la tabla 4 se han recogido los porcentajes de los 28 profesores en formación encuestados (estudiantes de los últimos cursos de la carrera de químicas) que, en sus respuestas confunden, por acción u omisión la mezcla con el compuesto en el mapa conceptual.

Tabla 4
Porcentaje de profesores en formación que identifican mezcla y compuesto

Categorías de respuesta	4º y 5º Químicas (N=28) %
Diferencian correctamente entre mezcla y compuesto	39,3
Consideran que el compuesto es lo mismo que la mezcla	46,4
Incodificable	14,3

En este caso se observa que solamente el 39,3% del profesorado en formación percibe el error conceptual del estudiante que ha realizado el mapa conceptual y diferencia ambos conceptos. Al mismo tiempo, aproximadamente la mitad de los encuestados, 46,4%, los confunde, como se aprecia en los siguientes ejemplos:

- *Las sustancias compuestas son una mezcla de diferentes sustancias simples; pueden ser una mezcla heterogénea y homogénea (también llamada disolución), entre las últimas se pueden citar el sulfamán (agua y HCl), el aire (O₂, H₂, CO₂,...) y la leche (lactosa, proteínas, agua,...).*

- *Entre las sustancias compuestas existen las que forman una mezcla y las que son simplemente compuestas (sustancias formadas por más de un elemento, como es el caso del agua y el butano).*

Se puede apreciar en ambos ejemplos que los compuestos son considerados como mezclas. No obstante, el primero de ellos manifiesta de manera explícita el error conceptual que las sustancias simples son los elementos químicos y ello induce a pensar que no hay diferencias entre compuesto y mezcla. En el segundo caso se interpreta que esta identificación subyace implícitamente en la respuesta.

A continuación, pasaremos a analizar si, a nivel macroscópico, tampoco se tiene en cuenta esta confusión entre compuesto y mezcla en los 109 libros de texto analizados. En este análisis se han incluido tres de los cuatro ítems relativos a la clasificación de las sustancias en simples y compuestas basándose en criterios operacionales (ítem 12); si se pone énfasis en

distinguir operacionalmente una mezcla de un compuesto, con propiedades características como, por ejemplo, puntos de fusión y ebullición, densidad, etc. (ítem 13) y, por último, si se advierte al lector de alguno de los problemas históricos a los que tuvo que hacer frente la ciencia para distinguir macroscópicamente entre un compuesto y una disolución (ítem 14). En la tabla 5 se reproducen los resultados encontrados en estos tres ítems.

Tabla 5
Porcentaje de libros de texto de química (N=109) que no ponen el énfasis en diferenciar una sustancia compuesta de una mezcla

Cuestiones consideradas en la red de análisis	3º ESO N=38 %	2º BUP N=26 %	1º Bach N=28 %	COU N=17 %	TOTAL N=109 %
11.- Clasifica las sustancias: • En simples y compuestas (respuesta más rigurosa) • En elementos y sustancias compuestas • No clasifica	10,5 81,6 7,9	11,5 57,7 30,8	17,9 78,6 3,6	-- 88,2 17,6	14,0 76,1 13,8
12.- No clasifica las sustancias en simples y compuestas introduciendo criterios empíricos basados en el análisis y la síntesis.	89,5	80,8	67,9	88,2	86,2
13.- No incide en las propiedades características de un compuesto que permiten conceptualizarlo y distinguirlo de una mezcla.	89,5	96,2	85,7	94,1	90,8
14.- No presenta, al menos, uno de los problemas o debates históricos que tuvieron que vencerse para introducir el concepto macroscópico de compuesto y diferenciarlo de una disolución.	94,7	92,3	67,9	88,2	86,2

A pesar que la investigación ha puesto de manifiesto las dificultades de los estudiantes para diferenciar mezcla de compuesto, el análisis muestra que el 90% de los textos no explicita estas diferencias, ni tampoco hace referencia a debates históricos sobre la introducción del concepto de compuesto como puede ser, por ejemplo, la polémica entre PROUST & BERTHOLLET.

Por otra parte, era de suponer que, dada la superposición de niveles macroscópico y microscópico que se da en la enseñanza (GABEL, 1998), los libros de texto no enfatizaran tampoco la distinción entre mezcla y compuesto a nivel microscópico. Con esta hipótesis, se incluyó en la red de análisis 6 ítems que se aplicó a los textos y cuyos objetivos eran los siguientes: i) ver si presentaban los conceptos microscópicos de sustancia simple y compuesta (ítem 15); ii) si diferenciaban los conceptos microscópicos de mezcla y compuesto (ítem 16); iii) ver si presentaban el concepto de molécula (ítem 17); iv) si salían al paso de extrapolar las propiedades de las sustancias en el nivel microscópico a las moléculas (ítem 18); v) y si ofrece una definición del concepto de elemento en los niveles macro y microscópico para salir al paso de las dificultades de los alumnos para diferenciar los conceptos de sustancia simple y elemento (ítems 19 y 20). A continuación, la tabla 6 muestra los datos obtenidos en los que se aprecia cómo, en la totalidad de los textos utilizados se ignoran las conceptualizaciones microscópicas de mezcla, sustancia simple y compuesto, así como su diferenciación. Es decir, la mayoría de los textos (en porcentajes del 80%) no favorece una mejor comprensión de estos conceptos al no hacer ninguna referencia ni aclaración respecto de los problemas de aprendizaje más frecuentes en los estudiantes, como puedan ser explicar qué es una molécula o diferenciar los niveles macro y microscópico de representación de las sustancias para evitar la extrapolación de las propiedades macroscópicas de las sustancias a las moléculas.

En definitiva, el aspecto más importante a destacar de este apartado es la elevada ausencia de interpretación microscópica de los conceptos de sustancia simple y compuesta (81,7%), que deja su interpretación al conocimiento anterior del alumno, dificultando la explicación posterior de las reacciones a nivel microscópico al tiempo que se favorecen confusiones entre términos, como la que mostramos a continuación, en la que se identifican los conceptos de sustancia simple y elemento.

“Las sustancias puras, a su vez, pueden clasificarse en elementos y compuestos.

Un elemento es aquella sustancia pura que no puede descomponerse en otras más sencillas por métodos químicos ordinarios” (PIÑAR, I., 1998. 3º ESO, pp. 38).

Tabla 6
Deficiencias conceptuales encontradas en el análisis de libros de texto respecto a las conceptualizaciones microscópicas de sustancia simple y compuesta

Cuestiones consideradas en la red de análisis	3º ESO N=38 %	2º BUP N=26 %	1º BACH N=28 %	COU N=17 %	TOTAL N=109 %
15.- No presenta explícitamente los conceptos de sustancia simple y compuesto desde el punto de vista de la teoría atómica	73,7	88,5	78,6	94,1	81,7
16.- No hace referencia a que el alumnado tiene tendencia a identificar, a nivel microscópico, los conceptos de mezcla y compuesto, es decir, asocian indistintamente la mezcla de átomos a las mezclas y los compuestos	97,4	100,0	100,0	100,0	99,1
17.- No explica que la palabra molécula hace referencia a grupos formados por dos o más átomos, iguales o diferentes	76,3	76,9	75,0	94,1	78,9
18.- No delimita el campo de validez de los niveles de representación macro y micro ni sale al paso de que se extrapolen las propiedades de las sustancias a las moléculas	92,1	92,3	92,9	100,0	93,6
19.- No se ofrece la idea macroscópica de elemento químico como último componente del análisis de las sustancias compuestas	97,4	96,2	95,7	100,0	96,9
20.- No se define microscópicamente el elemento químico como una sustancia ideal formada por numerosos átomos iguales	94,7	96,2	100,0	82,4	95,3

DIFICULTADES EN EL ESTUDIO DE LAS REACCIONES QUÍMICAS

Para analizar cómo aborda la enseñanza el estudio de las reacciones químicas, comenzaremos por presentar los resultados obtenidos en el cuestionario C2 (expuesto en el anexo II). La primera de las cuestiones, Q1, preguntaba lo siguiente:

Q1. Antes de iniciar la enseñanza de los cambios químicos, es aconsejable que el/la profesor/a conozca si los estudiantes dominan los prerrequisitos (conceptos científicos más sencillos) necesarios para poder comprender un concepto complejo como es el de las reacciones químicas. ¿Qué prerrequisitos consideras que habrían de revisarse al inicio del estudio de los cambios químicos?

El objetivo de la cuestión Q1 es determinar la importancia que, en general, da el profesorado a los prerrequisitos conceptuales considerados fundamentales para entender, primero, el cambio químico como cambio

Tabla 7. Porcentaje de profesores en formación (N = 39) y en activo (N = 49) que, en el ítem Q1, no tienen en cuenta las definiciones macro y microscópica de sustancia y compuesto así como sus relaciones

	Contenido considerado en la respuesta a Q1	% Profesores en formación (N= 39)	% Profesores en activo (N=49)
1	No indica la definición macroscópica de sustancia	89,7	85,7
2	No hace énfasis en la definición microscópica de sustancia	89,7	91,8
3	No hace énfasis en la existencia de dos niveles de representación (macroscópica y microscópica) en la definición de sustancia, que hay que relacionar para poder explicar más adelante los cambios químicos.	100,0	98,0
4	No explica el hecho que si un compuesto tiene macroscópicamente una composición fija, es porque sus partículas son iguales y tienen el mismo número de átomos de cada elemento (ejemplo de relación macro-micro).	98,0	100,0

sustancial macroscópico y, segundo, para explicarlo, a nivel microscópico, con la teoría atómica molecular de la materia. En particular, se analizará el énfasis dado por el profesorado a los conceptos macro y microscópico de sustancia, sustancia simple y compuesto como puede apreciarse en los 4 ítemes de la tabla 7.

En los resultados de la tabla 7 se puede ver que la presencia de las definiciones de sustancia, en los dos niveles macroscópico y microscópico, es casi testimonial, con porcentajes mínimos profesores en formación y en activo que hacen referencia a las mismas (categorías 1 y 2). Por otra parte, también es significativo que no se incida en la propia existencia de estos dos niveles macro y micro, para explicar los hechos o para salir al paso de las transposiciones macro-micro que, en muchas ocasiones realizan los estudiantes. Estos resultados son convergentes con los encontrados en los subapartados (a) y (b) anteriores.

La segunda cuestión, Q2, a analizar hace referencia al estudio concreto de los cambios químicos y en ella se pide a los profesores que pongan de manifiesto los aspectos que consideran importantes para su estudio:

Q2. En tercer curso de ESO hay una unidad dedicada al estudio de los cambios químicos. Comenta qué secuencia de contenidos (a manera de hilo conductor) te parece que sería la mejor para explicar el tema

Tabla 8
Porcentaje de profesores que dan importancia a los conceptos macro y microscópico de sustancia y cambio químico en la unidad dedicada al estudio de las reacciones químicas

	Contenido considerado en las respuestas a Q2	% Profesores en formación (N = 39)	% Profesores en activo (N =49)
1	Da una definición macroscópica de sustancia	2,6	4,1
2	Da una definición microscópica de sustancia	0,0	1,9
3	Explica los conceptos de sustancia simple y compuesta a nivel macroscópico	0,0	4,1
4	Explica los conceptos de sustancia simple, compuesta y mezcla a nivel microscópico.	5,1	4,1
5	Hace énfasis en el concepto macroscópico de reacción química como cambio sustancial (formación de nuevas sustancias)	7,7	14,3
6	Explica el concepto microscópico de reacción química	0,0	28,6
7	Estudia la ley de conservación de la masa	41,0	63,3

El análisis de los datos ofrecidos en la tabla 8 muestra unos resultados convergentes, a la par que complementarios, a los de la cuestión anterior, siendo destacable el porcentaje mínimo de profesores que tiene en cuenta los conceptos macro y microscópico de sustancia. Así pues, hemos de suponer que, si el concepto de sustancia no es tenido en cuenta como prerrequisito (tabla 7) en el estudio de las reacciones, ni tampoco es abordado durante el estudio de las mismas (tabla 8), se trata de un aspecto que, en raras ocasiones, será ofrecido a los alumnos y, por tanto, es lógico que se presenten dificultades en su comprensión. Es también muy significativo el bajísimo porcentaje de profesores que consideran necesario explicar los conceptos macroscópico y microscópico de la reacción química en el tema dedicado al estudio de las mismas. En cambio, entre 41 y 63% coincide en que es necesario estudiar la ley de conservación de la masa, resaltando así la importancia que da el profesorado a los aspectos cuantitativos del conocimiento científico en detrimento del significado cualitativo que debería aprender previamente el estudiante antes de pasar a cualquier definición operativa de los conceptos científicos.

Para finalizar con el apartado dedicado a las reacciones químicas, pasamos a mostrar los resultados obtenidos en el análisis de los libros de texto al aplicar los ítemes 21 a 27 de la red que se presenta en la tabla 9. Recordaremos que, en la tabla 8, sólo un 14% del profesorado en activo hacía mención a la definición macroscópica de las reacciones en el estudio de las mismas, y que únicamente un 28% consideraba necesario explicar su definición microscópica. La tendencia de los textos es similar, como podemos apreciar en los resultados que se muestran en la tabla 9.

Tabla 9
Deficiencias conceptuales encontradas en el análisis de libros de texto referentes a la conceptualización de las reacciones químicas

Cuestiones consideradas en la red de análisis	3º ESO N=38 %	2º BUP N=26 %	3º BUP 1º BACH N=47 %	COU N=17 %	TOTAL N=128 %
21. No presenta el concepto macro de reacción química como cambio en el que desaparecen unas sustancias y aparecen otras nuevas, con propiedades diferentes, pero relacionadas con las iniciales (cambio sustancial)	97,4	92,3	89,4	100,0	92,2
22. No establece el concepto macroscópico de elemento químico como un material básico cuya conservación permite explicar los cambios químicos	97,4	100,0	93,6	100,0	96,9
23. No diferencia entre la mezcla (proceso físico) y la reacción entre sustancias (proceso químico) ni expresa que la mezcla de los reactivos es necesaria pero no suficiente para que interaccionen las sustancias.	89,5	96,2	95,7	100,0	94,5
24. No hace referencia explícita a que el compuesto es diferente a la mezcla de sustancias simples a partir de las cuales se puede obtener o en las cuales se descompone	94,7	100,0	96,4	100,0	97,2
25. No explicita la diferencia entre cambio físico y proceso químico a nivel microscópico	92,1	100,0	97,9	100,0	96,9
26. No utiliza la teoría atómica para interpretar procesos químicos como reorganización de los átomos en casos sencillos de interés para el alumnado	42,1	76,9	70,2	82,4	64,8

En los resultados de la tabla 9 puede observarse que la casi totalidad de los libros de texto, en porcentajes del 95%, no ofrecen la representación macroscópica de la reacción química como cambio sustancial (ítems 21, 23 y 24) lo cual es coherente con la falta de introducción de los conceptos macroscópicos de sustancia y compuesto observada en la tabla 8, con porcentajes también del 95%. En cuanto a la definición microscópica de reacción química, se obtienen mejores resultados, aunque casi los 2/3 de los textos analizados (64,8%) no enfatizan explícitamente la interpretación atomista del proceso como redistribución de los átomos (ítem 26), diferenciando así el proceso químico del cambio físico en el que se mantiene su organización (ítem 25). Sin embargo, todos los textos la utilizan implícitamente a través de las fórmulas de las sustancias y la simbología de las ecuaciones químicas. Otra cuestión a destacar es la ausencia de la definición macro de elemento químico (ítem 22), que convendría estudiar más en profundidad.

A continuación, un ejemplo de introducción del concepto de reacción química, extraído de un texto de 1º de bachillerato:

“Una reacción química es un proceso en el que una o más sustancias (reactivos) se transforman en otra u otras (productos) de distinta naturaleza.

La particularidad fundamental de la reacción química es que los átomos que conformaban los reactivos son exactamente los mismos que constituyen los productos, pero reorganizados o reagrupados de distinta

manera.

Las reacciones químicas se representan de forma simbólica mediante ecuaciones químicas”.

(BALLESTERO, M. & BARRIO, J., 2002, pp. 152)

En el texto anterior se habla de transformación de unas sustancias en otras, término que, si no se clarifica, puede inducir al de transmutación. Por otra parte, se pasa de la definición macroscópica a la microscópica sin especificar que lo está haciendo, ni indicar tampoco a qué se refiere cuando habla de reorganización de átomos. Por último, explica que los átomos se mantienen, pero sin incidir en que en una reacción química se conservan los elementos.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EN LA ENSEÑANZA

En el momento actual, las dificultades del alumnado que se inicia en el estudio de la química para la comprensión de los cambios químicos representan un problema al que todavía no se han encontrado soluciones significativas. En este trabajo pretendemos dar un paso más en su consecución. Para ello, hemos investigado las deficiencias que presenta la enseñanza convencional respecto a los conceptos macroscópico y microscópico de sustancia y compuesto, así como del de reacción química como cambio sustancial.

A pesar que la investigación en didáctica de las ciencias ha hecho eco repetidamente de los problemas de aprendizaje de la reacción química, no se ha prestado demasiada atención a la investigación sobre la enseñanza convencional. En este trabajo se han puesto de manifiesto dificultades conceptuales y epistemológicas entre el propio profesorado y carencias de los libros de texto sobre las conceptualizaciones macroscópicas de sustancia, compuesto y reacción química. En concreto, hemos observado los siguientes aspectos:

- En numerosas ocasiones se ofrecen únicamente los aspectos simbólico y microscópico de sustancia y cambio químico, lo que conducirá a una visión incompleta o, en el peor de los casos, yuxtapuesta, si no se relacionan adecuadamente con la correspondiente visión macroscópica de los mismos. En concreto, no se da importancia a la definición operacional (macroscópica) de sustancia y, en muchos casos, se identifica con la idea más ambigua de material (véanse tablas 1, 2, 3 y 5). Esto es así porque, en general, la enseñanza obvia el modelo macroscópico, al tiempo que trata de darle soluciones con un modelo atómico que es el que realmente se valora. Por ello, cuando se introducen por primera vez los conceptos y leyes químicas, no sólo no se tiene en cuenta el conocimiento previo de los estudiantes, sino que, además, se realiza de manera arbitraria, ya que no presenta los problemas macroscópicos como fenómenos o hechos que los conceptos van a interpretar.
- No se enfatiza la diferencia entre el compuesto y la mezcla de sustancias, en ambos niveles (véanse tablas 4 y 5), ni se hace ver que la mezcla de sustancias es un paso previo y necesario, pero no suficiente, para que se produzca una reacción química y, con ella, la formación de un compuesto (tabla 9). Tampoco se explica que el compuesto formado es distinto a la mezcla de las sustancias simples de las que procede.
- La comprensión de las reacciones químicas genera muchos problemas a los estudiantes y, pese a ello, no son tenidas en cuenta de manera explícita por el profesorado su descripción macroscópica como cambio sustancial (véase tabla 8), ni su explicación microscópica, al tiempo que tampoco se ofrecen en la mayor parte de los libros de texto (véase tabla 9). A su vez, la falta de explicación de las reacciones químicas a nivel macroscópico conlleva que no se introduzca el concepto de elemento químico como una especie de material básico que se conserva en los cambios químicos y que puede permitir relacionar las sustancias reactivas con las sustancias productos (véase tabla 9).
- En general, entre el profesorado se observa la superposición de los dos niveles de representación macroscópica y microscópica, apreciable tanto al hablar de las sustancias como al referirse a los cambios químicos.
- Por último, no se tienen en cuenta referencias históricas que ayuden a los estudiantes a situarse ante el problema e incluso, a ofrecerle soluciones (tabla 3). En general, se presentan un conjunto de conceptos, leyes y teorías que se aplican y se aceptan como verdades incuestionables.

Como conclusión general resaltaremos que, en principio, consideramos lógico que el profesorado no se plantee el tema que estamos analizando como respuesta a la cuestión “*qué se conserva en los cambios químicos*”, porque eso implicaría tener claro que, en el modelo de representación macroscópica (que es el contexto en que se plantea el tema a desarrollar), la idea de sustancia es un concepto estructurante y necesario para establecer

los diferentes métodos de separación. Por ello, creemos que una solución a los problemas de aprendizaje de este tema pasaría por una introducción de los conceptos que tuviera en cuenta cómo se presentaron históricamente los problemas, de forma que cada uno de estos conceptos apareciera como la respuesta a una pregunta y, al mismo tiempo, su introducción generara nuevas cuestiones que habrían de resolverse sucesivamente. Esto es, primero se habría de plantear el estudio macroscópico del fenómeno introduciendo los correspondientes conceptos macroscópicos y, a continuación, tratar de explicarlo con las conceptualizaciones microscópicas de la teoría atómica.

Este planteamiento implica que consideremos necesario hacer énfasis en las siguientes propuestas didácticas, con cambios tanto en la formación del profesorado como en la secuenciación de los contenidos:

- Conocer la epistemología de la ciencia puede ser una herramienta muy útil para prevenir las posibles dificultades de los estudiantes. Por ello, creemos que el profesorado debe conocer la historia de la ciencia como guía para organizar la secuencia de contenidos.
- La enseñanza debe tener en cuenta las definiciones operacionales (macroscópicas) de sustancia y reacción química, derivadas del modelo histórico empirista.
- Para llegar a entender los conceptos de compuesto y cambio químico es fundamental la comprensión del prerrequisito conceptual "sustancia química" en los dos niveles macro y microscópico.
- Será conveniente estudiar los conceptos de sustancia y reacción química relacionándolos entre sí. Al mismo tiempo, se debe utilizar la teoría atómica para dar una explicación microscópica al comportamiento químico de las sustancias.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSSON, B. Pupils' Conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85, 1990.
- BALLESTERO, M. & BARRIO, J. *Física y química. Proyecto Exedra. 1º bachillerato (Modalidad Ciencias de la Naturaleza y la Salud - Tecnología)* (Oxford: Navarra), 2002.
- BEN-ZVI, R., EYLON, B. & SILBERSTEIN, J. Students' visualisation of a chemical reaction. *Education in Chemistry*, 24, (4), 117-120, 1987.
- BEN-ZVI, R., EYLON, B. & SILBERSTEIN, J. Is an atom of copper malleable? *Journal of Chemical Education*, 63, (1), 64-66, 1986.
- BEN-ZVI, R., EYLON, B. & SILBERSTEIN, J. Students' visualisation of a chemical reaction. *Education in Chemistry*, 24, (4), 117-120, 1987.
- BEN-ZVI, R., EYLON, B. & SILBERSTEIN, J. Theories, principles and laws. *Education in Chemistry*, 25, 89-92, 1988.
- DE VOS, W. & VERDONK, A.H. (1985a). A new road to reactions. Part 1. *Journal of Chemical Education*, 62, (3), 238-240.
- DE VOS, W. & VERDONK, A.H. (1985b). A new road to reactions. Part 2. *Journal of Chemical Education*, 62, (3), 648-649.
- DE VOS, W. & VERDONK, A.H. (1987a). A new road to reactions. Part 4. The substance and its molecules. *Journal of Chemical Education*, 64, (8), 692-694.
- DE VOS, W. & VERDONK, A.H. (1987b). A new road to reactions. Part 5. The elements and its atoms. *Journal of Chemical Education*, 64, (12), 1010-1013.
- DRIVER, R. Beyond appearances: the conservation of matter under physical and chemical transformations. In R. Driver, E. Guesner and A. Tiberghien (eds.). *Children's Ideas in Science*, 145-169. (Milton Keynes: Open University Press), 1985.
- DOMÍNGUEZ, M.C. & FURIÓ, C. Knowing the history of science to understand students' difficulties with the concept of chemical substance. In D. Psillos et al. (eds.). *Proceedings of the Third International Conference on Science Education Research in the Knowledge Based Society*, vol. I, 365-367 (ESERA-Aristotle University of Thessaloniki: Greece), 2001.
- DOMÍNGUEZ, M.C. *Dificultats en la comprensió dels conceptes de substància química, substància simple i compost. Proposta de millora basada en estratègies d'ensenyament-aprenentatge per investigació orientada*. Tesis doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València, 2004.
- FURIÓ, C. Tendencias actuales en la formación del profesorado de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 12, (2), 188-199, 1994.
- FURIÓ, C.; BULLEJOS, J. & DE MANUEL, E. L'apprentissage de la reaction chimique comme activité de recherche. *Aster*, 18, 141-164, 1994.
- FURIÓ, C. & DOMÍNGUEZ, M.C. Problemas históricos y dificultades de los estudiantes en la conceptualización de sustancia y compuesto químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 24, (1) (en prensa), 2007.

- GABEL, D. Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, 70, (3), 193-194, 1993.
- GABEL, D. The complexity of chemistry and implications for teaching. In B.J. Frazer and K.G. Tobin (eds.). *International Handbook of Science Education* (Kluwer Academic Publishers: London). 233-248, 1998.
- GIL, D. Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1, (1), 26-33, 1983.
- JOHNSON, P.M. Children's understanding of substances, part 2. Explaining chemical change. *International Journal of Science Education*, 24, (10), 1037-1054, 2002.
- JOHNSTONE, A.H. (1991a). Thinking about thinking – A practical approach to practical work. In *Proceedings of the International Conference on Chemical Education*, (University of Glasgow: Glasgow, U.K.). 69-76.
- JOHNSTONE, A.H. (1991b). Why is Science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75-83.
- JOHNSTONE, A.H. The development of chemistry teaching. *Journal of Chemical Education*, 70, 701-703, 1993.
- KRNEI, D., GLAAR, S.D. & WATSON, R. The development of the concept of 'matter': a cross-age study of how children describe materials. *International Journal of Science Education*, 27, 367-383, 2005.
- LLORENS, J.A. *Comenzando a aprender química. Ideas para el diseño curricular*. (Ed. Visor: Madrid), 1991.
- LLORENS, J.A. Introducción a los conceptos básicos de la química. En *Aspectos didácticos de física y química, (Química 5)*. (I.C.E. de la Universidad de Zaragoza: Zaragoza). 53-103, 1994.
- PIÑAR, I. *Ciencias de la naturaleza. Física y química. 3º ESO*. (Oxford: Madrid), 1998.
- SANMARTÍ, N. *Dificultats en la comprensió de la diferenciació entre els conceptes de mescla i compost*. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona, 1989.
- SATOCA, J.; TEJERINA, F. & DALMAU, J.F. *Física i Química 1r Batxillerat* (Anaya: Madrid), 2000.
- SOLOMONIDOU, C. & STAVRIDOU, H. À propos de la distinction entre phénomène physique et phénomène chimique. En A. Giordan et J.L. Martinand (eds.) *Actes des IXes JIES*, 367-372, 1987.
- SOLOMONIDOU, C. & STAVRIDOU, H. Les transformations des substances, enjeu de l'enseignement de la réaction chimique. *Aster*, 18, 75-95, 1994.
- SOLOMONIDOU, C. & STAVRIDOU, H. From inert object to chemical substance: students' initial conceptions and conceptual development during an introductory experimental chemistry sequence. *Science Education*, 84, 382-400, 2000.
- STAVRIDOU, H. & SOLOMONIDOU, C. Physical phenomena-chemical phenomena: do pupils make the distinction? *International Journal of Science Education*, 11, (1), 83-92, 1989.
- VOGELEZANG, M.J. Development of the concept "chemical substance" – some thoughts and arguments. *International Journal of Science Education*, 9, (5), 519-528, 1987.
- YILMAZ, A. & ALP, E. Students' understanding of matter: the effect of reasoning ability and grade level. *Chemistry Education Research and Practice*, 7, (1), 22-31, 2006.

Anexo I. Cuestionario C1 para profesores en formación.

1. Actualmente todos hemos oído hablar de: luz, aire, agua, fuego, granito, onda de radio. Subraya los que crees que están formados por una sustancia. Explica en qué te basas y por qué crees que los otros no lo son.
Da una definición de lo que consideras que es una sustancia.
2. Un alumno ha realizado el siguiente mapa conceptual para hacer una revisión de la teoría atómica de la materia. Comenta las dificultades conceptuales que pienses que puede tener, a partir del análisis del mapa.

Anexo II. Cuestionario C2 para profesores en activo

- Q1. Antes de iniciar la enseñanza de los cambios químicos, es aconsejable que el/la profesor/a conozca si los estudiantes dominan los

prerrequisitos (conocimientos más sencillos) necesarios para poder comprender un concepto complejo como es el de las reacciones químicas. ¿Qué prerrequisitos consideras que habría que revisar al inicio del estudio de los cambios químicos?

Q2. En tercer curso de ESO hay una unidad dedicada al estudio de los cambios químicos. Comenta qué secuencia de contenidos (a manera de hilo conductor) te parece que sería la mejor para explicar el tema.

Anexo III

Red de análisis de libros de texto sobre los conceptos macroscópicos y las interpretaciones microscópicas de sustancia y mezcla, sustancias simples y compuestas, elemento y cambio químicos.

1. ¿Introduce el problema a estudiar como una situación problemática (por ejemplo, la de la composición de los materiales) que se intenta resolver? Especificando más: ¿Trata de introducir algún concepto estructurante que dé explicación general a la diversidad de materiales que nos rodean y los cambios que se producen en ellos? ¿Plantea que todos los materiales están formados estructuralmente por unos pocos materiales más simples, a los que llamamos elementos químicos y que serán los que se conserven en el cambio químico?
2. ¿Introduce la noción macroscópica de sustancia como sistema material no mezclado (cuerpo puro), que posee un conjunto de propiedades características fijas e invariables?
3. Diferencia claramente los conceptos opuestos de sustancia y mezcla a partir de la invariabilidad, o no, de las propiedades del sistema material en cuestión?
4. ¿Utiliza las propiedades específicas como método para caracterizar y separar las sustancias?
5. ¿Expone claramente que en los cambios físicos las sustancias no cambian?
6. ¿Presenta la sustancia, según la interpretación atomista clásica, como un sistema material formado por muchas partículas todas iguales?
7. ¿Presenta microscópicamente el concepto de mezcla mediante la teoría atómica?
8. ¿Se hace alguna referencia o comentario al contexto histórico en que se desarrolló el concepto de sustancia (siglos XVI al XVIII)?
9. ¿Hace referencia a que los estudiantes identifican el concepto de sustancia con la idea más general de material (que, casi siempre, es una mezcla)?
10. ¿Hace alguna referencia al hecho de que el alumnado identifica, a nivel microscópico, el concepto de sustancia con el de sustancia simple, es decir, átomos aislados o moléculas formadas por átomos iguales?
11. Para clarificar los conceptos y favorecer su comprensión, ¿establece algún tipo de clasificación de las sustancias?
12. ¿Introduce criterios empíricos para la clasificación de las sustancias a

partir del estudio de reacciones de análisis y síntesis (descomposición o no, mediante calor o electricidad)?

13. ¿Incide en las diferencias procedimentales para diferenciar una mezcla de un compuesto?
14. ¿Tiene en cuenta al menos uno de los problemas históricos que se hubieron de vencer para la introducción del concepto macroscópico de compuesto, o alguna de las controversias que hubo que superar hasta diferenciar las mezclas de los compuestos?
15. ¿Interpreta los conceptos microscópicos de sustancia simple y compuesto desde el punto de vista de la teoría atómica?
16. ¿Hace referencia a la habitual tendencia del alumnado a identificar, a nivel microscópico, los conceptos de mezcla y de compuesto, asociando las mezclas de átomos indistintamente a las mezclas y los compuestos?
17. ¿Explica que la palabra molécula hace referencia a partículas formadas por dos o más átomos, iguales o diferentes?
18. ¿Delimita el campo de validez de los niveles de estudio macro y microscópico, saliendo al paso de que se extrapolen las propiedades de las sustancias a las moléculas que las forman?
19. ¿Se da la idea macroscópica de elemento químico como el último componente del análisis de las sustancias, que puede formar una o varias sustancias simples diferentes y también formar parte de otras compuestas?
20. ¿Se define microscópicamente el elemento químico como un conjunto formado por numerosos átomos iguales?
21. ¿Presenta el concepto macroscópico de reacción química como un cambio en el que desaparecen unas sustancias y aparecen otras nuevas, con propiedades diferentes, pero relacionadas con las iniciales (que puede facilitar la activación del esquema mental de la conservación de los elementos en la reacción)?
22. ¿Establece la idea de elemento químico como respuesta a la cuestión: ¿qué se conserva en un cambio químico?
23. ¿Explicita la diferenciación entre los procesos de mezcla (proceso físico) y reacción entre sustancias (proceso químico)? ¿Indica que la mezcla de los reactivos es necesaria para que interaccionen las sustancias, pero no es suficiente?
24. ¿Hace referencia explícita a que el compuesto es diferente a la mezcla de sustancias simples a partir de las cuales se puede obtener o en las cuales se puede resolver por descomposición?
25. ¿Explicita la diferencia entre cambio físico y proceso químico a nivel microscópico?
26. ¿Utiliza la teoría atómica para interpretar procesos químicos sencillos y de interés para el alumnado?
27. ¿Hace referencia a que la teoría de Dalton no asume la posibilidad de la transmutación de los metales en oro (los átomos son inmutables)?

Received 31.03.2006 / Approved 6.03.2007

Science education on the river: a multidisciplinary transformational learning opportunity

Educación en ciencias en el río: una oportunidad de aprendizaje con múltiples disciplinas

JACE HARGIS, RAY BOWMAN, APRIL ALEXANDER-MOORE

University of North Florida, 4567 St. Johns Bluff Road, Jacksonville, FL 32224, 904.620.1446, USA, jhargis@unf.edu

Abstract

Active, experiential, contextual learning has been shown to significantly increase students' ability to process and integrate conceptual learning into their schema for subsequent useful applications. This paper describes the use of active teaching strategies in a week long travel course that integrates multiple disciplinary perspectives each focused on a National Heritage River, the St. Johns River in Florida, USA. The overall objective is to substantially increase connections between science and the world it affects. Instructors integrate relational concepts of the river into their own courses delivered throughout the academic term. During the week of spring break, a cross-section of students participated in the field event traveling approximately 300 kilometers on the river. Students engaged in scientific, historical, social, engineering and educational activities guided by faculty members representing these

disciplines. A Project-Based Science (PBS) approach was used as each student takes ownership of their learning and shares their unique expertise with other students.

Key words: science education, informal settings, multidisciplinary, experimental methods.

Resumen

En este trabajo se muestran los resultados del proyecto que utiliza la metodología del aprendizaje activo en un viaje educativo de una semana en el Río St. Johns en la Florida, EE UU, y que integra múltiples perspectivas disciplinarias. El objetivo general de estas actividades es aumentar el entendimiento de las conexiones entre la ciencia y el mundo, a través de la integración de los conceptos científicos relacionados