

# Aproximación cualitativa a la reacción química: un procedimiento experimental

Josep Cervelló

*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales  
Facultad de Educación. Universidad Complutense, Madrid*

## INTRODUCCION

La química es una ciencia uno de cuyos propósitos fundamentales es el estudio de las reacciones químicas. Puede definirse una reacción química como un proceso por medio del cual unas sustancias se convierten en otras distintas. Esta definición se centra en el concepto de sustancia y en el de cambio. El concepto de sustancia, en Química, es muy preciso: una sustancia puede definirse microscópicamente por su estructura electrónica y macroscópicamente por medio de un conjunto de propiedades - densidad, punto de fusión, punto de ebullición, etc, conocidas como propiedades características. Esta precisión no se corresponde con la percepción de las sustancias que se tiene en la vida diaria, en la que normalmente tan sólo son importantes algunas propiedades, relacionadas generalmente con sus aplicaciones.

El segundo aspecto de la definición hace referencia a la formación de sustancias distintas a las de partida, es decir, al cambio químico. Un cambio que en términos macroscópicos, observables, supone la aparición de sustancias con propiedades que difieren de las que tienen las sustancias iniciales y que, en sus aspectos microscópicos, exige la rotura y recombinación de enlaces. El proceso está sujeto a los principios de conservación de energía y masa; este último a nivel microscópico se cumple para los átomos, pero no para las moléculas.

En consecuencia, los alumnos que empiezan a estudiar química deben adquirir unos conocimientos específicos para ser capaces de producir una explicación del

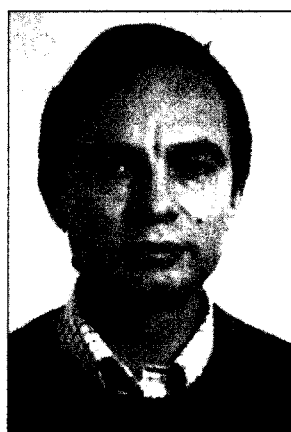
cambio químico que sea aceptable desde el punto de vista científico:

- a) *Conocimiento químico*, incluyendo hechos concretos -propiedades de las sustancias implicadas- y teorías asociadas con el cambio que se describe, la más importante de las cuales es la teoría atómico-molecular de la materia.

*Comprensión de cómo el principio de conservación de la materia se aplica a los cambios químicos.*

La reacción química supone pues, un proceso complejo que implica relacionar aspectos macroscópicos observables, propiedades de las sustancias, intercambios de materia y energía, con una estructura molecular que provee las explicaciones de esos cambios macroscópicos.

Elaborar esta explicación no es fácil para un alumno que empieza a estudiar química. Esta dificultad se pone de manifiesto al analizar las ideas de los alumnos sobre la reacción química. Los estudios al respecto indican que surgen problemas relacionados con todos los conceptos que se utilizan en la explicación. Así, el paso de una visión macroscópica a otra microscópica plantea muchos problemas -incapacidad de explicar los cambios observados a partir de interacciones entre átomos o moléculas (Ben-Zvi y otros 1987-, Caretto, J. Y Viovy, R. (1994)-, discusiones sobre cambio químico sin la utilización de



Josep Cervelló

los términos atómicos y moleculares (Ahtee y Varjola, 1998).

En los análisis microscópicos se detectan modelos aditivos de reacción: la formación de compuestos se ve como simple adición de fragmentos más que como productos de rotura y formación de enlaces (Nakhleh, M. (1992)

Por otro lado, el lenguaje cotidiano es un vehículo para enraizar determinadas

ideas científicamente erróneas, de "sentido común". Por ejemplo la de que un cuerpo puede cambiar por sí mismo sin interacción alguna: así, un clavo oxidado es hierro oxidado, no óxido de hierro; se trata de una sustancia modificada, no de otra nueva: (De Voos y Verdonk (1987). También la idea de que un cuerpo puede cambiar sus propiedades sin cambiar su identidad, parte del lenguaje corriente; en la vida cotidiana hay abundantes ejemplos de ello.: las hojas de los árboles amarillean, los tomates se ponen rojos, etc. La estructura de la frase sugiere la conservación de las sustancias iniciales (Solomonidou y Starvridou, 1994)

Finalmente, se ha detectado que al solicitar a los alumnos ejemplos de reacciones químicas, citan como tales los cambios de estado, según (Ahtee, M. Y Varjola, I. (1998), y mi propia experiencia profesional).

Como consecuencia de lo anterior, parece poco razonable pensar que un alumno pueda integrar el conjunto de conoci-

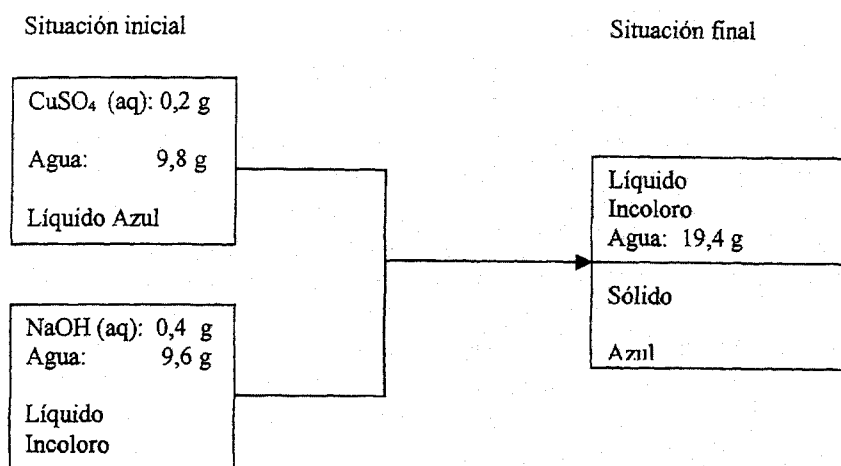


Figura 1. Interacción entre CuSO<sub>4</sub> (aq) y NaOH (aq). Diagrama de flujo y cantidades de materia.

mientos necesarios para construir el concepto de reacción química en una sola etapa. Una solución razonable podría ser una construcción por etapas que se inicia-se por una aproximación operativa y macroscópica ((Caretto y Viovy, 1994), (Ah-tee, M. Y Varjola, I., 1998).

En este artículo se propone una introducción cualitativa a la reacción química, que se centra en los conceptos de sustancia y cambio, mediante una serie de reacciones sencillas que permiten observar cambios cualitativos y demostrar que conducen a la formación de sustancias distintas de las iniciales, como resultado de la modificación de alguna propiedad característica, en general, la solubilidad en agua. Los ejemplos propuestos permiten también un segundo nivel de interpretación para alumnos más avanzados, que facilitan la relación entre las propiedades macroscópicas observadas y la estructura atómico-molecular de las sustancias implicadas.

Para ello, se presenta, en primer lugar, una metodología general de trabajo, a continuación se pasan a plantear, desarrollar y analizar las actividades concretas propuestas y finalmente se elaboran unas conclusiones.

## METODOLOGIA GENERAL DE TRABAJO

La metodología que se propone utiliza el laboratorio como centro de aprendizaje. Es un lugar donde no sólo se realizan las actividades experimentales, sino que sirve de núcleo de reflexión sobre el trabajo efectuado y de revisión y discusión del

mismo, con otros compañeros y/o con el profesor.

El componente central del trabajo es describir y analizar los cambios observados cuando se ponen en contacto los distintos reactivos, para justificar si esos cambios conducen a la formación de una nueva sustancia y se ha producido una reacción química. Eventualmente, con alumnos de niveles más avanzados, se pueden sugerir interpretaciones de las interacciones observadas en términos microscópicos, lo que en algún caso exigirá la realización de alguna observación complementaria.

La metodología general de trabajo incluye:

- Preparación de las disoluciones acuosas de aquellas sustancias que lo requieran. Las disoluciones son de concentración conocida con objeto de prever los problemas de agotamiento prematuro de algún reactivo y evitar, de este modo, observaciones erróneas.
- Observación de los reactivos de partida antes de ponerlos en contacto: estado de agregación y color.
- Puesta en contacto de los reactivos en un tubo de ensayo.
- Observación de los fenómenos que se producen en la puesta en contacto, cambios de estado - precipitación, desprendimiento de gases - color, calentamiento del tubo de ensayo. En caso necesario, realizar operaciones complementarias que faciliten la observación final: por ejemplo, filtración en caso de muestras finales sólido-líquido, en las que el sólido es poco compacto.

- Estructuración de la información obtenida como cambios observados en el paso desde la situación inicial hasta la final.
- Realización de actividades complementarias que puedan ser necesarias para poder interpretar los cambios producidos.
- Interpretación de los cambios producidos y justificación de si ha tenido lugar o no una reacción química.

## ESTUDIO CON LAS REACCIONES SELECCIONADAS

A continuación se presenta el estudio con las reacciones seleccionadas. Se han elegido tres grupos de ellas con presencia de disoluciones acuosas: reacciones de precipitación; de neutralización de óxidos metálicos y de desplazamiento de carbonatos por ácidos; y un cuarto grupo formado por las reacciones de descomposición por acción del calor.

En todos los casos se realiza un análisis similar: Se indican en primer lugar los criterios de elección de cada grupo de reacciones, para seguir a continuación con la observación del sistema antes, durante y una vez finalizada la reacción, describiendo el cambio producido; se justifica seguidamente porqué este cambio supone que se ha producido una reacción química y, finalmente, se examina la posibilidad de interpretar la reacción utilizando conceptos de la teoría atómica de la materia.

- *Reacciones de precipitación de disoluciones acuosas de sales de metales de transición con disoluciones de hidróxidos alcalinos*

Los criterios de elección han sido los siguientes:

- Facilitan la visualización de cambios de estado y color
- Permiten trabajar un concepto clave en química: solubilidad, desde otra perspectiva, valorando los dos aspectos del mismo: solubilidad e insolubilidad
- Ponen de manifiesto el papel del disolvente, habitualmente desdeñado en este tipo de trabajos con disoluciones.
- Son adecuadas para empezar a interpretar las reacciones químicas a partir

de la teoría atómica. El concepto de ion desempeña un papel fundamental.

Un ejemplo típico de esta reacción lo constituye la que tiene lugar entre una disolución acuosa de sulfato de cobre (II) con otra de hidróxido sódico. En la figura 1 se presenta un diagrama de flujo del proceso, en el que se incluyen las cantidades de materia que intervienen en él.

El resumen de los cambios observados puede verse en la Tabla I

Este análisis destaca la relevancia del disolvente cuando se trabaja con disoluciones, aspecto que muchas veces se omite, puesto que normalmente el interés suele centrarse en el soluto y sus interacciones. Sin embargo el disolvente es fundamental cuando la discusión se plantea en términos de solubilidad/insolubilidad. En el ejemplo descrito, en caso de no producirse reacción, la mezcla de las dos disoluciones iniciales conduciría a una disolución más diluida, por lo que la sustancia

++ y OH<sup>-</sup>; o bien de los iones SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y Na<sup>+</sup>. Dilucidar cual de las dos posibilidades es la correcta es un ejercicio que los alumnos pueden resolver apoyándose en observaciones (color), planteando la posibilidad de comprobar experimentalmente la solubilidad de las posibles sustancias, o consultando algún libro de datos, posibilidad que parece una de las más sencillas si se dispone de ellos, pero que la experiencia demuestra que los alumnos no tienen tendencia a acudir a ella.

Para poder hacer ese análisis deben haberse trabajado antes los siguientes conceptos:

- Naturaleza eléctrica de la materia
- Ion.
- Sustancias iónicas

Los alumnos deben conocer que en las sustancias iónicas los iones están fijos en una red y en consecuencia, dichas sustancias no conducen la corriente eléctrica, lo que puede comprobarse fácilmente cerrando un circuito eléctrico con un cristal. Por el contrario, en disolución, una vez rota la estructura de la red, estos iones tienen movilidad por lo que hay conducción eléctrica.

### Reacciones de neutralización de óxidos metálicos

Los criterios de elección utilizados para este grupo son los mismos que los descritos en el caso anterior, aunque algo matizados, como se comentará posteriormente.

Un ejemplo puede ser la reacción entre el CuO y una disolución de ácido clorhídrico. Los cambios observados en la reacción pueden verse en la Tabla II.

En este caso, las observaciones realizadas muestran que el cambio observado consiste fundamentalmente en la desaparición de un sólido. Como en las reaccio-

**TABLA I. CAMBIOS OBSERVADOS EN LA INTERACCION ENTRE EL CuSO<sub>4</sub> (AQ) Y EL NaOH(AQ)**

Situación inicial	Situación final	Cambios observados
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dos Reactivos.</li> <li>Estado de agregación: líquido.</li> <li>• Un reactivo de color azul</li> <li>• Otro reactivo incoloro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezcla heterogénea</li> <li>Sólido-Líquido</li> <li>• Sólido color azul</li> <li>• Líquido incoloro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparece un precipitado</li> <li>• Color del precipitado: azul</li> </ul>

En resumen se ha producido un cambio: la aparición de un sólido a partir de la puesta en contacto de dos muestras líquidas. ¿Puede afirmarse que se ha producido una reacción química?, es decir: ¿se ha obtenido alguna sustancia nueva, distinta de las iniciales?

Efectivamente, puede hacerse, utilizando el concepto de solubilidad. La aparición de un sólido en el seno de una disolución acuosa implica que esa sustancia es insoluble en agua; por lo que debe ser distinta de las iniciales, que eran solubles.

Esta diferencia de solubilidad puede ponerse más claramente de manifiesto realizando un análisis semicuantitativo que tenga en cuenta las cantidades de materia que se ponen en contacto.

En el diagrama de flujo de la Figura 1 se indican esas cantidades de materia cuando se mezclan 10 ml de la disolución de CuSO<sub>4</sub> 0,1 M, con 5ml de la disolución de NaOH 1M.

Los datos muestran que, en términos de materia, una disolución acuosa está formada fundamentalmente por agua (mas del 90% en peso, en ambos casos) y que cuando se ponen en contacto dos disoluciones acuosas, lo que siempre tiene lugar es un aumento sustancial de la cantidad de agua del sistema, es decir: una dilución del mismo.

precipitada no podría ser en ningún caso el CuSO<sub>4</sub> de la disolución inicial.

Un conocimiento real de las reacciones químicas implica una interpretación de los fenómenos observables en términos microscópicos. Ello puede hacerse en cursos más elevados, utilizando el concepto de ion, clave para comprender la mayor parte de los fenómenos que tienen lugar en las disoluciones acuosas. En la Figura 2 se muestran los iones presentes en este caso al ponerse en contacto ambas disoluciones.

La puesta en contacto de los iones presentes en ambas disoluciones y la aparición de un precipitado indica claramente que se ha producido una recombinación de iones. Con los iones presentes sólo existen dos posibilidades: que el precipitado provenga de la unión de los iones Cu

**TABLA II. CAMBIOS OBSERVADOS EN LAS INTERACCIONES ENTRE EL CuO (AQ) Y HCl (AQ)**

Situación inicial	Situación final	Cambios observados
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CuO (s), polvo negro.</li> <li>Insoluble en agua</li> <li>• Un reactivo de color azul</li> <li>• y transparente (HCl, aq)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezcla homogénea</li> <li>líquida</li> <li>• Color azul</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desaparece un sólido</li> <li>• Cambio de color</li> </ul>

nes de precipitación se produce un cambio de estado; aunque difieren en que las situaciones inicial y final son opuestas. El que la muestra final sea homogénea es fundamental para que la observación sea correcta; se necesita que reaccione todo el CuO. Ello plantea dificultades de experimentación puesto que prever cualitativamente el exceso de reactivo es más difícil cuando uno de ellos es una sustancia. Además, este tipo de reacciones depende fuertemente de la temperatura por lo que es aconsejable calentar. (puede ser un punto de partida para determinar el efecto de algunas variables sobre la velocidad de reacción).

También, para poder justificar la naturaleza química del cambio en términos de solubilidad/insolubilidad, se necesita comprobar la insolubilidad del CuO en agua. El cambio que se ha producido es una reacción química porque a partir de una sustancia insoluble en agua se obtiene una disolución, además, de color distinto al de la sustancia de partida. Puede dificultar la interpretación la naturaleza del ácido clorhídrico -un gas disuelto en un líquido- una abstracción que difícilmente tendrá un significado concreto para gran parte de los alumnos, por lo que pueden asociar el cambio a una disolución en una entidad difusa llamada ácido clorhídrico.

También en este caso, el análisis de la cantidad de materia presente, pone de manifiesto, como en el caso anterior, que la disolución de HCl esta constituida en su mayor parte por agua, lo que refuerza el comportamiento distinto de la solubilidad en agua entre el CuO y la sustancia final.

El análisis estructural presenta un grado de dificultad mayor que en las reacciones de precipitación. Por un lado cuenta con menor apoyo experimental: no puede verse que la disolución final es conductora

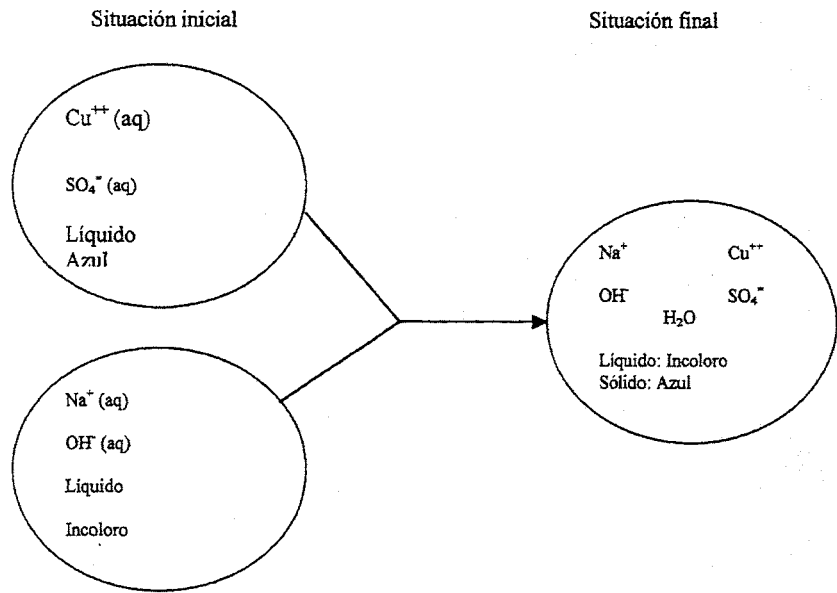


Figura 2. Reacción entre el  $\text{CuSO}_4(\text{aq})$  y el  $\text{NaOH}(\text{aq})$ . Iones presentes.

sin eliminar previamente el exceso de ácido clorhídrico, lo que en principio no parece justificable, a no ser que se plantee la actividad con otros objetivos (problema abierto, por ejemplo).

Con esta restricción, sólo hay dos especies iónicas presentes,  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{H}^{+}$  y  $\text{OH}^{-}$ , por lo que una interpretación completa de la situación exige conocer el equilibrio iónico del agua.

### Reacciones de desplazamiento de carbonatos por ácidos. Criterios de elección

#### Criterios de elección

Además de los señalados en los casos anteriores, se han tenido en cuenta los siguientes:

- Cambio de estado característico: desprendimiento de gases
- Posibilidad de recoger e identificar el gas mediante reacción química ( $\text{CO}_2$  sobre hidróxido cálcico)

Es un ejemplo típico de reacciones de desplazamiento de sal de ácido débil por ácido fuerte, con desprendimiento de gases. Una muestra característica puede serlo la reacción entre el carbonato cálcico y una disolución de ácido clorhídrico.

El análisis de los cambios observados al poner en contacto ambos reactivos puede verse en la Tabla III.

En este caso, la formación masiva de burbujas a partir de la puesta en contacto de un sólido y un líquido demuestra que el cambio ha conducido a sustancias nuevas. El argumento de la solubilidad diferencial, válido para el  $\text{CaCO}_3$ , no puede argumentarse si se utiliza como reactivo un carbonato soluble.

Determinar la naturaleza del gas desprendido en la reacción puede plantear serias dificultades a un alumno que empieza a estudiar química. Si se hace la pregunta a un grupo de alumnos poco expertos la respuesta abarcará todos los gases conocidos asociados a los reactivos:  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{CO}_2$ . La naturaleza del gas puede demostrarse recogiéndolo sobre una disolución de hidróxido cálcico (suele ser un ensayo típico que realizan los alumnos soplando a través de una pajita para demostrar la presencia de  $\text{CO}_2$  en el aire espirado)

Un análisis en términos estructurales se revela más complejo que los anteriores. La situación "congelada" al poner en contacto los reactivos, antes de que se inicie la reacción, puede verse en la figura 3.

**TABLA III. CAMBIOS OBSERVADOS EN LAS INTERACCIONES ENTRE EL  $\text{CaCO}_3$  Y EL HCl**

Situación inicial	Situación final	Cambios observados
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{CaCO}_3(\text{s})</math>. Insoluble en agua</li> <li>• Un reactivo líquido, incoloro y transparente (<math>\text{HCl}</math>, <math>\text{aq}</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezcla homogénea líquida</li> <li>• Incolora</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desaparece un sólido</li> <li>• Formación masiva de burbujas en la superficie del sólido</li> </ul>

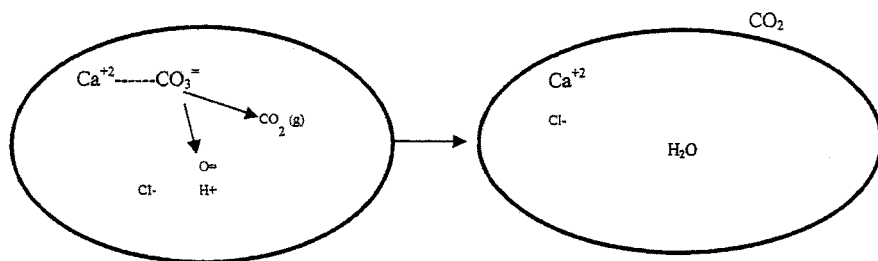


Figura 3. Interacción entre el  $\text{CaCO}_3$  y el  $\text{HCl}$  (aq). Visión microscópica

**TABLA IV. CAMBIOS OBSERVADOS EN LA ACCION DEL CALOR SOBRE EL  $\text{PbCO}_3$**

Situación inicial	Situación final	Cambios observados
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{PbCO}_3</math> (s). Incoloro</li> <li>• Masa = <math>m_i</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólido amarillo - rojizo</li> <li>• Masa, <math>m_f &lt; m_i</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de color en el sólido</li> <li>• Disminución de la masa en el proceso</li> </ul>

En ella puede verse que los iones presentes en la disolución, una vez eliminado el  $\text{CO}_3$ , son, además de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Cl}^-$ , los  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$ . Una interpretación completa de la situación exige conocer, como en el caso anterior, el equilibrio iónico del agua.

### Reacciones de descomposición por la acción del calor.

Este es el único grupo de reacciones que no tiene lugar en medio acuoso. El criterio de elección más importante ha sido:

- Utilización del principio de conservación de la masa para interpretar la reacción. Aunque también se ha tenido en cuenta que se produzcan cambios de color sin cambio de estado y, por supuesto temperatura de descomposición accesible en un laboratorio escolar.

Este tipo de reacciones permiten la utilización del principio de conservación de la materia, aplicado a una situación en la que se emiten gases. En estas condiciones, existe abundante bibliografía sobre las dificultades de los alumnos par aplicarlo correctamente. (Véase, por ejemplo, Driver y otros, 1992 o Pozo y otros, 1991). Para analizar esta reacción debe pedirse a los alumnos que determinen la masa del sistema (cápsula con el sólido) antes y después de realizar la reacción. Si se utiliza como reactivo el Carbonato de Plomo,  $\text{PbCO}_3$ , las datos de observación pueden verse en la tabla IV.

Una vez que se ha comprobado que la pérdida de masa detectada no es un dato accidental, sino que es un dato contrastado por los distintos grupos de alumnos, la única explicación compatible con el principio

de conservación de la materia es que se haya producido un gas, y que en consecuencia, hay un cambio que conduce a una sustancia nueva. En este ejemplo concreto, el cambio de color ayuda a la interpretación.

### CONCLUSIONES

La propuesta presentada permite trabajar de modo operativo el concepto de reacción química centrado en las sustancias y en el cambio que se produce en las mismas y que se observa a través de un cambio en alguna propiedad característica, fundamentalmente la solubilidad.

Aunque este es el propósito fundamental, permite también trabajar con un nivel de interpretación más avanzado, que permite relacionar ese cambio con la estructura electrónica de las sustancias. Este segundo nivel permite trabajar con el concepto de ion, clave para todos los fenómenos que tienen lugar en disoluciones polares, y comprobar su distinto comportamiento frente a la corriente eléctrica cuando está en una red cristalina y cuando adquiere movilidad, en una disolución.

Al centrarse en analizar el cambio químico, esta propuesta ha considerado exclusivamente la situación inicial y final del proceso, prescindiendo de una visión cinética del mismo. Sin embargo, al estudiar las reacciones entre los óxidos metálicos y el  $\text{HCl}$  (aq), ha aparecido la necesidad de aumentar la temperatura para que la reacción tuviera lugar en un tiempo razonable. Este tipo de reacciones, o las de desplazamiento del carbonato por ácidos podrían utilizarse, por ejemplo, para iniciar un estudio sobre el efecto de distintas variables, temperatura, velocidad de agitación y tamaño de partícula sobre la velocidad de reacción.



### REFERENCIAS

- Ahtee, M. Y Varjola, I. (1998) Student's understanding of chemical reaction. International Journal of Science Education. 20(3), pp. 305-316.
- Ben-Zvi,R., Eylon, B. Y Silberstein, J. (1987) Is an atom of copper malleable?. Journal of Chemical Education 63(1), pp. 64-66.
- Caretto, J. Y Viovy, R. (1994) Relevé de quelques obstacles épistémologiques dans l'apprentissage du concept de réaction chimique. Aster, 18, pp. 11-25.
- Driver, R.; Guesne, E.; Tiberghien, A. 2ª Ed. (1992) Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia. Capítulo VIII. Ed. MEC/Morata. Madrid.
- Nakhleh, M. (1992) Why some Students don't lern Chemistry. Journal of Chemical Education 69(3), pp. 191-196.
- Pozo, J.I.; Gómez Crespo, M.; Limón, M. Y Sanz, A. (1991) Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: ideas de los adolescentes sobre la química. Capítulo 6.4. MEC/C.I.D.E. Madrid.
- Solomonidou, C. Y Stavridou, H. Les Transformations des substances, enjeu de l'enseignement de la réaction chimique. Aster, 18, pp. 75-95
- De Vos, W. y Verdonk, A.H. (1987) A New Road to Reactions. Part 4. The Substance and its Molecules. Journal of Chemical Education 64(8), pp. 692-694.