

El aprendizaje del concepto de cambio químico en el alumnado de secundaria

Nuria Solsona Pairó
I.E.S. Josep Pla. Barcelona (*)
Mercè Izquierdo Aymerich
Universidad Autónoma de Barcelona (**)



RESUMEN

En este artículo se analizan las dificultades de aprendizaje del alumnado de Enseñanza Secundaria relacionadas con el concepto de cambio químico. Para ello, se analiza el contenido de las redacciones escritas por las alumnas y alumnos según la macroestructura semántica. Se detectan cuatro modelos teóricos de cambio químico que reciben los nombres de incoherente, mecano, cocina e interactivo.

Introducción

Los resultados obtenidos en distintas investigaciones realizadas en el campo de la didáctica de la química (De Voss y Verdonk, 1987, Martín, 1994, Meheut, 1989 y Solsona, 1995 entre otros) nos permiten afirmar que la construcción del concepto de cambio químico, en la Escuela Secundaria, es uno de los objetivos centrales a abordar durante el proceso de aprendizaje de la interpretación de los fenómenos químicos.

Partimos de la idea de que, en cualquier momento de este proceso, aprender un concepto no es solamente dar una definición del mismo memorizada, por muy amplia y completa que sea ésta, sino que el alumnado tiene que ser capaz de utilizar unos conocimientos, que normalmente adquiere a nivel teórico, para interpretar los

hechos experimentales. Por ello, nos proponemos investigar concretamente el problema de la falta de conexión que establece el alumnado, entre los fenómenos químicos y la explicación de los mismos.

La pregunta que nos hemos planteado recoge un problema generado por la propia práctica profesional en la enseñanza de la química. Al finalizar la Enseñanza Secundaria, el alumnado utiliza la terminología química y realiza cálculos químicos, pero no está claro qué concepto de cambio químico ha construido, más allá de algunas definiciones memorizadas. Creemos que los problemas de enseñanza de cualquier área están relacionados con los que se presentan durante el proceso de aprendizaje y, por este motivo, nuestra investigación se centra en el aprendizaje de la interpretación de los fenómenos químicos.

(*) Vall d'Ordesa, 24. 08031 Barcelona.

(**) Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas. Universidad Autónoma de Barcelona. Edificio B, 08193 Bellaterra. Tlfno.: 935 812 646. Fax: 935 812 007.



Los modelos teóricos, un instrumento útil para el análisis de la construcción de significados

Entendemos un modelo teórico como la representación de un grupo de fenómenos que puede concretarse por escrito o mediante una maqueta (Giere, 1988, Izquierdo, 1996). Para comprender mejor el significado de un modelo teórico hay que indicar que éste incluye fenómenos ejemplares del mundo, permite el diseño de experimentos y la elaboración de argumentos para explicar los resultados obtenidos en los mismos. En un primer momento del aprendizaje un modelo teórico puede ser un conjunto de frases que tomarán significado a través de la experimentación.

Los modelos teóricos son convencionales y pueden cambiar, pero no son arbitrarios, conectan significativamente con el mundo real y lo "modelan". Los modelos teóricos, a diferencia de las teorías, no están obligados a tener un núcleo axiomático o formulado matemáticamente, aunque pueden tenerlo (Izquierdo, 1996).

Desde nuestro punto de vista, en clase hay que construir pocos modelos teóricos, que al inicio del aprendizaje serán simples pero susceptibles de desarrollo. Decimos que deben ser evolutivos porque a lo largo de la escolaridad han de dar unidad y coherencia a la diversidad de hechos que se le presentan al alumnado, tanto en clase como en la vida diaria, y han de ser cada vez más rigurosos y operativos. También deben limitar, de forma significativa y no arbitraria, las argumentaciones que construye el alumnado. Durante la transposición didáctica se debe facilitar su construcción ya que son útiles para destacar las relaciones entre los conceptos y los procesos que son objeto de aprendizaje.

Uno de los modelos teóricos que debe ser objetivo de aprendizaje durante la enseñanza secundaria es el *Modelo de Cam-*

bio Químico (Izquierdo et al, 1997). En este nivel educativo, el objetivo de la enseñanza de la química debería ser el de facilitar ejemplos de los fenómenos químicos, es decir poner en contacto al alumnado con hechos que le ayuden a construir un modelo teórico del cambio químico. Su función es la de dar unidad y coherencia a la diversidad de hechos que se presentan al alumnado, tanto en un contexto escolar como en la vida diaria. Además, permite centrar la intervención didáctica en torno a las diferencias y relaciones que hay entre los distintos niveles de representar la realidad química.

Al finalizar la Enseñanza Secundaria, el alumnado tendría que ser capaz de construir un modelo teórico de cambio químico que vaya más allá del esquema de reconocimiento del cambio como formación de nuevas sustancias con propiedades diferentes y debería incluir la conservación del elemento, durante la reacción química.

En nuestra investigación, queremos analizar las vías que sigue el alumnado para conectar el mundo de los fenómenos y el mundo de las explicaciones químicas de estos fenómenos, y cuáles de estas vías pueden permitir una elaboración equilibrada entre el nivel macroscópico y el microscópico de los significados químicos. La Química escolar tendría que ayudar a pensar utilizando los modelos teóricos, tal como los hemos definido.

Estudio experimental

Nuestra investigación (Solsona, 1997) se ha realizado a lo largo de tres años en un Instituto de Enseñanza Secundaria de Barcelona, con alumnado que tenía 16 años al inicio del mismo y 18 años en el momento de su finalización. En este artículo presentamos una parte de los resultados obtenidos, aquellos que son relativos a los modelos teóricos de cambio químico

que construye el alumnado. Para completar la información se pueden consultar los resultados relativos a la interpretación del ciclo del Cu obtenidos en la misma investigación (Solsona, 1998).

Al inicio del segundo y tercer año de investigación, se propuso a un grupo de 51 alumnos y alumnas que escribiera una redacción abierta sobre todo lo que recordara sobre el cambio químico, haciendo mención explícita de los conceptos necesarios para explicarlo, de los mejores ejemplos de cambio químico y de su explicación a nivel microscópico (Solsona e Izquierdo, 1993).

Análisis de las redacciones

Para el análisis de las redacciones, hemos utilizado el análisis de la microestructura semántica del texto, la macroestructura y la coherencia del texto escrito. Estas categorías de análisis han sido tomadas del análisis del discurso (Van Dijk, 1989, Vilà, 1990). Se denomina microestructura de un texto a la estructura de las proposiciones o ideas, y de sus relaciones y macroestructura al significado global que impregna y da sentido al texto.

El estudio de la macroestructura y la microestructura del texto se ha realizado siguiendo las orientaciones de los mapas construidos por Thagard (1990). La microestructura y la macroestructura construidas a partir del texto de Santi, que se incluye a continuación, como ejemplo de modelo interactivo de cambio químico es el siguiente:

Las reglas que el alumno 59 establece entre los conceptos y que están indicadas en el mapa, son las siguientes:

R₁ El cambio químico es aquel en el que a partir de unos reactivos obtenemos unos productos con propiedades diferentes.

R₂ La causa del cambio químico es la reorganización atómica.

R₃ En un cambio químico interviene la energía.

R₄ En un cambio químico se enuncia la ley de la conservación de la masa.

R₅ La reorganización atómica tiene el objetivo de llegar a un nivel en el que el compuesto sea más estable que el anterior.

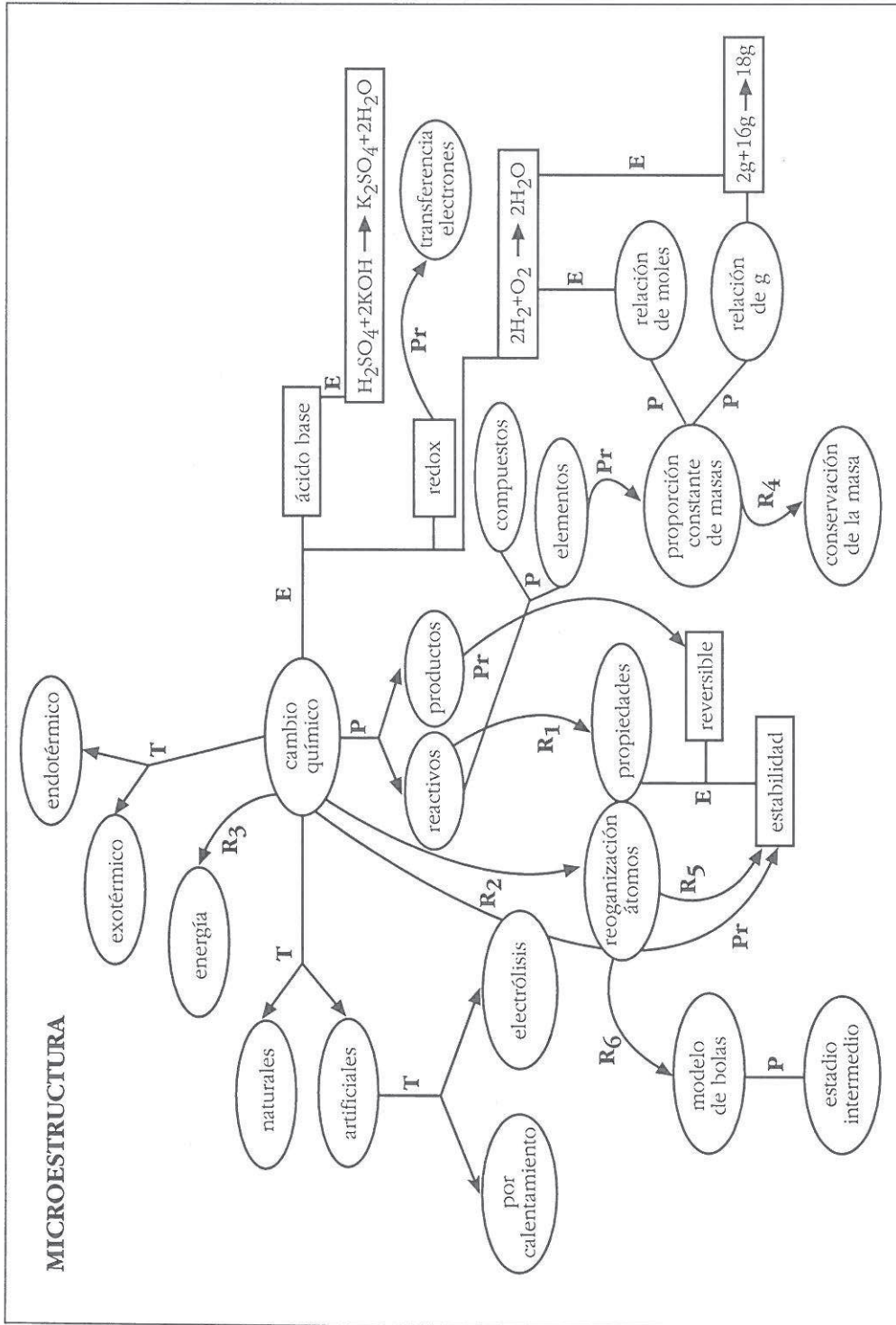
R₆ La reorganización atómica es análoga al modelo de bolas.

A partir del análisis de la microestructura de las redacciones (cuadro 1), hemos extraído unas categorías para analizar el contenido de las mismas. Estas categorías permiten realizar el análisis comparativo de las redacciones con mayor precisión. Su objetivo es determinar los elementos clave que las caracterizan y detectar las reglas establecidas entre los conceptos por parte del alumno.

Las categorías de análisis son: qué cambia, qué se conserva, nivel de explicación del cambio químico, ejemplos de cambio químico y coherencia global del texto. Cada categoría agrupa las distintas subcategorías que hemos obtenido en el análisis de las redacciones y que especificaremos en la descripción de cada uno de los modelos teóricos.

A partir de estas cinco categorías, dibujamos los perfiles conceptuales (Mortimer, 1993) contenidos en la redacción que agrupan las subcategorías comunes a diferentes redacciones. Los perfiles permiten describir el estado conceptual, es decir los diferentes tipos de relaciones entre conceptos que establece el alumnado, en un determinado momento del aprendizaje. El establecimiento de relaciones entre las diferentes subcategorías ha sugerido la formación de grupos de redacciones, en función de cada uno de los perfiles conceptuales.

Los perfiles nos permiten diagnosticar si el estudiante ha construido el concepto de cambio químico, teniendo en cuenta las explicaciones teóricas y los fenómenos químicos que indica. Es decir, el perfil conceptual es una forma de describir en que momento del proceso de construcción de la interpretación de los fenómenos químicos se encuentra cada chica o chico.



Cuadro 1: Ejemplo de macro / micro alumno 59.

A partir de los perfiles conceptuales, clasificamos las redacciones de acuerdo con una tipología de macroestructuras. La macroestructura resume las ideas y ejemplos que selecciona el alumnado para explicar el cambio químico. Nuestra hipótesis de trabajo es que las macroestructuras guardan relación con el “modelo teórico” que cada alumno está construyendo sobre el cambio químico y que ha activado frente a la tarea concreta que le hemos propuesto: la confección de una redacción. Los modelos teóricos que hemos construido a partir del contenido de la redacción no podemos afirmar que sean permanentes, pero sí que son estructuras de significado para el alumno.

Hemos detectado cuatro modelos teóricos del cambio químico que hemos llamado: *modelo incoherente*, *mecano*, *cocina e interactivo*. Cada modelo agrupa las diferentes subcategorías de las categorías usadas para analizar el contenido de las redacciones.

1. *Modelo incoherente del cambio químico* es aquel en el que no se explica el cambio químico, los ejemplos que se citan del mismo tienen carácter ilustrativo y, no están razonados. No se utiliza claramente ninguna terminología, ni macroscópica, ni microscópica para describirlo. El texto no tiene coherencia global, es decir, el discurso se construye sin una progresión temática ordenada, en formas de islas de conocimiento, sin relación entre ellas. Se trata, en la mayoría de los casos de un listado de lecciones de cosas y de definiciones de conceptos sin conexión entre ellos.

Algunos párrafos de un ejemplo ilustrativo de las redacciones que hemos incluido en el modelo incoherente sería el siguiente:

“Por lo que puedo recordar del curso pasado, el cambio químico consistía en la reacción que hay un reactivo y nos da un producto, mientras que en el cambio físico no hay reacción, no tenemos reactivo que da un producto. También estudiamos que los cuerpos tienen un

punto de ebullición ... Otro tema es la química orgánica: la formulación del carbono y el hidrógeno, metano, etano, propano, butano, como se formulaban, como se nombraban, ...También estaba la química inorgánica que consistía en formular o nombrar un compuesto. Para ello había que saber los estados de oxidación, como se formulan las sales, los óxidos, los ácidos, ...

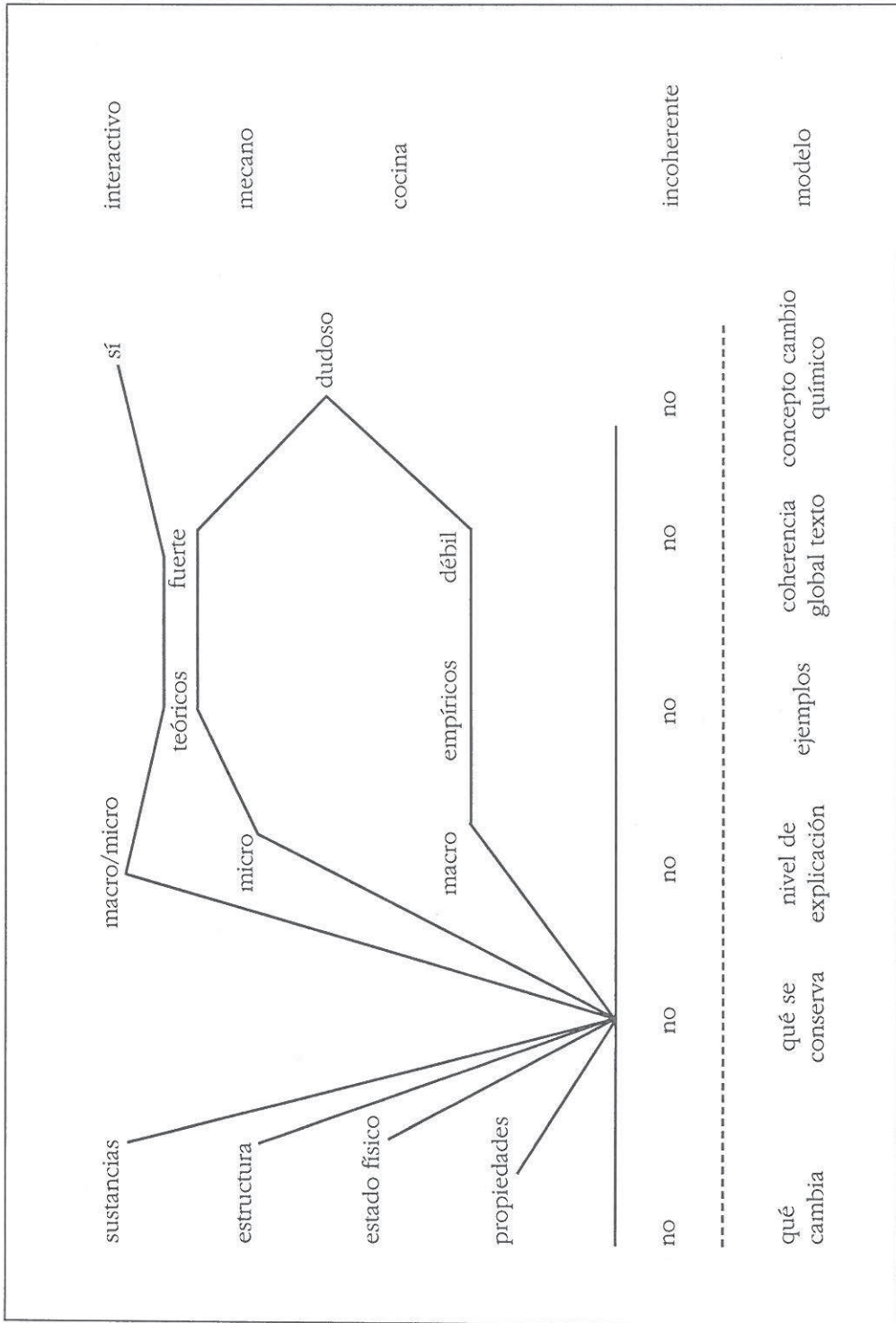
Otro tema a nivel microscópico son las configuraciones electrónicas, estaban los niveles s,p,n, ... la ley de Dalton. Los átomos están formados por electrones, protones y neutrones y sabemos los que tiene cada elemento y sabemos si los elementos son o no metálicos.”

En el cuadro 2, el modelo incoherente corresponde a la línea inferior que une las subcategorías “no” para cada categoría del perfil conceptual.

Es discutible que se pueda considerar el modelo incoherente propiamente como un modelo, ya que se trata de una representación fragmentaria del cambio químico; pero aunque sea un modelo fragmentado, es al fin y al cabo, un modelo teórico de cambio químico, tal como lo hemos definido.

2. *Modelo mecano* es aquel en el que el discurso se construye fundamentalmente en torno a la explicación microscópica del cambio, sin dar importancia a los fenómenos. Se habla del cambio a nivel de estructura interna. Los ejemplos son teóricos, es decir son de libro de texto o no se activa el referente empírico de los mismos y en algunos casos no se indican ejemplos. La coherencia global del texto puede ser débil o fuerte. Nuestra conclusión es que nos parece dudoso que en este modelo donde no se tiene en cuenta la química de los fenómenos que ha sido sustituida por las explicaciones microscópicas y la química de las fórmulas, se haya adquirido el concepto científicamente aceptado de cambio químico.

En el cuadro 2, el *modelo mecano* corresponde a la línea que une las subcategorías “estructura” en relación a lo que



Cuadro 2: Modelos teóricos de cambio químico.

cambia, "no" en relación a lo que se conserva, nivel explicativo "microscópico", ejemplos "teóricos", coherencia global del texto "débil" y "fuerte" y concepto de cambio químico "dudoso". Incluimos a continuación algunos párrafos de la redacción de Rosa agrupada en el *modelo mecano*.

"Un cambio químico es cuando la composición de un componente se ve alterada de forma atómica; cuando sus átomos varían o se combinan con otros formando compuestos de propiedades diferentes a las que las han formado. Átomo es la partícula más indivisible que podemos encontrar; además de la más pequeña. Descubierta por los grandes clásicos, Dalton profundiza más en ellas en su teoría atómica, con unos principios básicos que después ampliaremos: no todos los átomos son iguales; tienen una masa determinada; son indivisibles; etc. Pero los átomos pueden formar elementos o compuestos de formas variadas; así los átomos de carbono pueden dar lugar al carbón que conocemos, pero más agrupado y con menos espacio entre ellos tenemos algo diferente: el diamante."

3. *Modelo cocina* es aquel en el que el discurso se construye fundamentalmente en torno a los fenómenos. Se empieza la redacción hablando de uno o dos ejemplos empíricos, a partir de los cuales se infiere qué es un cambio químico, que se describe como un cambio físico o un cambio de propiedades. Los ejemplos de cambio que se citan son empíricos y en la mayoría de los casos se da una explicación coincidente con la explicación general de cambio químico presente en la redacción.

La terminología utilizada en la redacción es predominantemente macroscópica. El texto es coherente a nivel global. Nuestra conclusión es que en este modelo es dudoso que el alumno haya adquirido el modelo científicamente aceptado de cambio químico.

En el cuadro 2, el *modelo cocina* corresponde a la línea que une las subcate-

gorías "propiedades" y "estado físico" en relación a lo que cambia, "no" en relación a lo que se conserva, nivel de explicación "macroscópico", ejemplos "empíricos", coherencia global del texto "débil" y "fuerte" y concepto de cambio químico dudoso.

Incluimos a continuación algunos párrafos de la redacción de José ilustrativa de las que hemos agrupado en este modelo.

"Un cambio químico es un proceso en el cual un elemento o un compuesto cambia su composición química, es decir, se convierte en otro elemento con características diferentes al primero. Un ejemplo de cambio químico podría ser la oxidación de hierro, en el cual el hierro que es un metal duro y brillante, en contacto con el oxígeno se oxida y se transforma en un compuesto marrón y frágil. Este ejemplo todo el mundo lo ha podido observar, ya que se produce en la atmósfera, en contacto con el aire y también con el agua."

Otro ejemplo de cambio químico que se observa en la vida cotidiana es la combustión de la madera, en la cual se observa, como en el caso del hierro oxidado, que la madera quemada pierde peso y se convierte en un compuesto muy frágil, pero en este caso hay un desprendimiento de energía en forma de calor (energía calorífica)".

4. *Modelo interactivo* es aquel en el que la interpretación del cambio químico se realiza en términos de cambio de sustancias, es decir de formación de nuevas sustancias que sustituyen claramente las sustancias iniciales. En la interpretación del cambio, y por lo tanto, en la construcción del discurso hay una relación coherente y equilibrada entre el nivel de explicación macroscópico y microscópico. Los ejemplos que se citan son teóricos y el texto es coherente a nivel global. Nuestra conclusión es que el alumnado ha interiorizado el modelo científicamente aceptado de cambio químico.

Incluimos a continuación algunos párrafos de la redacción de Santi, como

ejemplo ilustrativo de las que hemos agrupado en el modelo interactivo.

"Cuando se produce un cambio químico tiene lugar una alteración de orden interno en la estructura de la sustancia, a esto se le llama reacción química y va acompañada de un intercambio de energía. Cuando hablamos de reacciones, la unidad básica para definir lo que sucede es la molécula (parte mínima de una sustancia que tiene propiedades de la misma). Por eso cuando se habla de sustancias, siempre hay una molécula asignada que varía en todas las sustancias ya sean elementos o compuestos. Todas las moléculas están formadas por átomos y según su número encontramos un conjunto de elementos básicos definidos en la Tabla Periódica, que reaccionando entre ellos forman compuestos.

Un fenómeno de cambio químico que es el más estudiado es el caso del hidrógeno gas y el oxígeno gas que cuando se juntan y reaccionan dan lugar a un cambio químico notable, de estado gaseoso pasan a estado líquido con un cambio molecular y de propiedades. la reacción producida es:

$2 H_2 + O_2 \rightarrow 2 H_2O$. las reacciones escritas en fórmulas tienen una explicación para cada factor que interviene ..."

El cuadro 3 indica los diferentes modelos teóricos de cambio químico construidos a partir de la redacción escrita el

tercer año de la investigación y, el número total de alumnado agrupado en cada uno de ellos.

Los modelos teóricos de cambio químico construidos a partir del contenido de las redacciones son en realidad fotografías estáticas de un pensamiento dinámico. Debido fundamentalmente a la naturaleza dinámica de los datos y a los resultados obtenidos en las pruebas anteriores, nos planteamos la necesidad de intentar ver si el alumnado podía comunicar mejor sus explicaciones sobre el cambio químico mediante una entrevista.

Para ello, el alumnado fue entrevistado en torno a dos hechos: los ejemplos de cambio químico y la reacción entre el $Cu(NO_3)_2$ y el Fe que se realizó *in situ*. El objetivo de la entrevista es el de redefinir y clarificar los modelos teóricos construidos a partir de las redacciones así como volver a considerar las categorías sobre las que se habían construido los modelos.

Los resultados de las entrevistas nos han permitido ajustar mejor el uso por parte del alumnado de los modelos de cambio químico.

Frente a un fenómeno concreto como la interpretación de la reacción entre el $Cu(NO_3)_2$ y el Fe, dada la diferencia de

MODELO CAMBIO QUÍMICO	Nº TOTAL ALUMNADO	PORCENTAJE ALUMNOS
Modelo incoherente	10 chicas, 7 chicos = 17	33%
Modelo mecano	6 chicas, 11 chicos = 17	33%
Modelo cocina	4 chicas, 9 chicos = 13	26%
Modelo interactivo	1 chica, 3 chicos = 4	8%

Cuadro 3. Modelos teóricos de cambio químico construidos a partir del contenido de las redacciones.

la tarea respecto a la redacción, el alumnado elabora una explicación más concreta. La entrevista confirma los criterios de agrupación del alumnado en los modelos mecano y cocina y ha permitido ampliar la información sobre el uso de estos modelos.

Conclusiones finales

Las principales aportaciones de nuestra investigación, a nivel teórico son la propuesta de una nueva definición del concepto de modelo teórico que hemos introducido y que operativizamos a lo largo de la investigación.

A nivel de metodología, nuestra investigación hace un nuevo uso del análisis de las redacciones con un componente de análisis semántico donde se prioriza la coherencia y los referentes empíricos del concepto de cambio químico. Los ejemplos citados mayoritariamente por el alumnado son: el S y el Fe, en la primera redacción que escriben, el segundo año de la investigación, y la síntesis del agua, el último año de la investigación.

La reflexión en torno a los modelos teóricos nos permite hacer una propuesta de modelo de cambio químico deseable para el alumnado al finalizar los estudios de Secundaria antes de entrar en la Universidad. Se trata de una propuesta didáctica y por lo tanto no recoge todos los conceptos que se trabajan actualmente a nivel de Enseñanza Secundaria en España.

Para decidir el contenido del modelo de cambio químico hemos tenido en cuenta aquellos conceptos y ejemplos de cambio químico que han sido operativos para el alumnado de la muestra investigada, estableciendo entre ellos las relaciones aceptadas como correctas según el modelo de cambio químico aceptado científicamente.

El modelo de cambio químico deseable queda esquematizado en el cuadro 4 de la página anterior [mapa de Thagard (1990)], donde las reglas que relacionan los conceptos son las siguientes:

R₁: En un cambio químico se obtienen nuevas sustancias por reordenación atómica.

R₂: Un cambio químico va acompañado de una transferencia de energía.

R₃: La conservación de la energía explica la formación y rotura de enlaces.

R₄: La transferencia de energía afecta la situación de equilibrio del cambio químico.

R₅: En situación de equilibrio podemos realizar cálculos químicos.

R₆: El cambio químico se realiza a una determinada velocidad de reacción.

R₇: Los átomos se unen mediante enlaces y tienen una estructura electrónica determinada.

R₈: La estequiometría realiza cálculos relativos a la masa (cuadro 4).

Las implicaciones para la enseñanza de nuestra investigación las queremos resumir en dos ideas que en nuestra opinión son importantes. La primera recoge el hecho de que las explicaciones del alumnado no son todas incorrectas, sino que la mayoría de las veces son incompletas y/o parciales, como lo muestran la existencia de los modelos cocina y mecano. Esto plantea la necesidad de activar la gestión en el aula para favorecer que unas explicaciones se completen con las otras.

La segunda idea es que el alumnado no recuerda los experimentos porque no los ha integrado en su modelo teórico. Señalamos este aspecto porque es substancial en la definición de modelo teórico. Por tanto, ante la dificultad de encontrar hechos que sean realmente paradigmáticos en química, parece claro que no es suficiente realizar y referirse a un experimento una sola vez durante el proceso de aprendizaje.

REFERENCIAS

- DE VOSS, W. y VERDONK, A. (1987). A new road to reactions. Part 5. The elements and its atoms. *Journal of Chemical Education*, 64 (12), 1010 - 1013.
- GIERE, R. (1988). *Explaining Science. A cognitive approach*. Chicago: University Chicago Press.
- IZQUIERDO, M. (1996). Cognitive models of science and the teaching of science, history of sciences and curriculum. Proceedings of the Second Ph. D. Summer School. Ed Art of Text, Thessaloniki.
- IZQUIERDO, M. y otros (1997). La química de las sustancias frente a la química de las fórmulas. *Enseñanza de las ciencias*. V Congreso, 307 - 308.
- MARTÍN DEL POZO, R. (1994). *El conocimiento del cambio químico en la formación inicial del profesorado. Estudio de las concepciones disciplinarias y didácticas de los estudiantes de Magisterio*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla.
- MEHEUT, M. (1989). Des représentations des élèves au concept de réaction chimique: premières étapes. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716.
- MORTIMER, E. F. (1993). *Studying conceptual evolution in the classroom as conceptual profile change*. Third Misconceptions Seminar Proceedings. Cornell University, Ithaca, NY, USA.
- SOLSONA, N. (1995). *The emergence of chemical phenomena. Research in Science Education II*, 235- 240. Ed. Art of text. Thessaloniki: Grecia.
- SOLSONA, N. (1997). *L'emergència de la interpretació dels fenòmens químics*. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.
- SOLSONA, N. e IZQUIERDO, M. (1993). *What is conserved in a chemical change? Opinions of Secondary School Students*. Third International Seminar of misconceptions and Educational strategies in Science and mathematics. Cornell University, New York.
- SOLSONA, N. e IZQUIERDO, M. (1998). La conservación del elemento en el alumnado de secundaria, una idea inexistente. *Alambique*, 17.
- THAGARD, P. (1990). The conceptual structure of the chemical revolution. *Philosophy of Science*, 57, 183-209.
- VAN DIJK, T.A. (1989). *La ciencia del texto*. Barcelona: Paidós.
- VILÀ, N. (1990). *La Diversitat de la Llengua Escrita: Usos i Funcions*. Barcelona: Ed. AAPSA Rosa Sensat.

SUMMARY

This paper analyse some difficulties in the learning of the concept of chemical change. In this research we study the content of written compositions of students according the semantic macrostructure. We have built up four theoretical models of chemical change which we have called: incoherent, mecano, kitchen and interactive models.

RÉSUMÉ

Cet article analyse les difficultés d'apprentissage du concept de réaction chimique des élèves de l'École Secondaire. Dans la recherche on analyse le contenu des textes écrits par les élèves selon son structure semantique. On a détecté quatre modèles théoriques de réaction chimique qui sont appelés: modèle incoherent, mecano, cuisine et interactive.