



Mayo 2019 - ISSN: 1989-4155

APORTACIONES A LA COMPRESIÓN DEL CAMBIO QUÍMICO A LO LARGO DE LA EDUCACIÓN SECUNDARIA

CONTRIBUTIONS TO THE COMPREHENSION OF CHEMICAL CHANGE THROUGH SECONDARY EDUCATION

Juan José Medina López-Ibarra¹
juanio.medina.lopezibarra@gmail.com

José Javier Verdugo-Perona²
Florida Universitaria
javiverpe@gmail.com

Joan Josep Solaz-Portolés³
Universitat de València
Joan.Solaz@uv.es

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Juan José Medina López-Ibarra, José Javier Verdugo-Perona y Joan Josep Solaz-Portolés (2019): "Aportaciones a la comprensión del cambio químico a lo largo de la educación secundaria", Revista Atlante: Cuadernos de Educación y Desarrollo (mayo 2019). En línea:

<https://www.eumed.net/rev/atlante/2019/05/compresion-cambio-quimico.html>

Resumen

Se presenta un estudio sobre la comprensión del cambio químico en la educación secundaria. Los objetivos que se plantean son: 1) Saber si los estudiantes son capaces de identificarlo; 2) Determinar si aceptan la conservación de la masa; 3) Conocer cuál es el nivel de interpretación y representación predominante; y 4) Analizar cómo influye el nivel académico en estas ideas. Se realizó un experimento de una reacción química y se administró un cuestionario sobre el fenómeno observado a 71 estudiantes de educación secundaria de cuatro cursos distintos. El análisis de las respuestas obtenidas muestra que: a) en su mayoría reconocen la transformación química; b) el nivel académico influye significativamente en las explicaciones que se dan sobre este fenómeno, incrementándose la utilización del nivel simbólico y el microscópico con el nivel académico; c) los estudiantes, independientemente del curso, no acaban de asimilar la conservación de la masa; y d) al representar explícitamente la transformación química, el nivel de representación macroscópico es el más empleado en todos los niveles académicos.

Palabras clave: educación secundaria, reacción química, niveles de representación, comprensión, formación.

Abstract

It is presented a study about the comprehension of chemical change in secondary education. The objectives proposed are: 1) to know if the students are able to identify a chemical transformation; 2) To determine if they accept the conservation of the mass. 3) To know what is the predominant level of interpretation and representation; and 4) To analyse how the academic level influences these ideas. An experiment of chemical

¹ Estudiante de Máster

² Doctor en Didácticas Específicas, Profesor en la Unidad de Educación de Florida Universitaria

³ Doctor y Profesor Titular Departamento Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la UV

reaction was performed and was administered a questionnaire about the observed phenomenon to 71 high school students from four different courses. Analyses of the responses obtained reveals that: a) Most of the students recognise a chemical reaction; b) academic level significantly influences the explanation given about this phenomenon, increasing the use of the symbolic and the microscopic level with the academic level; c) Regardless of the course they are doing, students do not completely understand the conservation of the mass; and d) when chemical transformation is explicitly represented, the level of macroscopic representation is the most used at all academic levels.

Keywords: secondary education, chemical reaction, representation levels, comprehension, training,

1. Introducción

De acuerdo con Solsona e Izquierdo (1999), la construcción del concepto de cambio químico es uno de los objetivos centrales en la Educación Secundaria española. De hecho, así aparece explícitamente en el currículum de Física y Química de 2º de ESO (octavo grado, 14 años), 3º de ESO (noveno grado, 15 años) y 4º de ESO (décimo grado, 16 años), así como en el de Química de 1º y 2º de Bachillerato (undécimo y duodécimo grado, 17 y 18 años). En la Tabla 1 se recogen los contenidos y los criterios de evaluación del bloque correspondiente del currículum oficial de la Educación Secundaria obligatoria en la Comunidad Autónoma Valenciana, en cada curso académico, donde aparecen los cambios químicos (DOGV, 2015). En la Tabla 2 se refleja la misma información, en este caso para el Bachillerato (DOGV, 2015).

Tabla 1. Bloques del currículum oficial de Educación Secundaria Obligatoria (ESO), con contenidos y criterios de evaluación, donde se incluyen los cambios químicos.

Bloque 3: Los cambios. Curso 2º ESO	
Contenidos	Criterios de evaluación
Cambios físicos y cambios químicos. La reacción química. Ley de conservación de la masa. Factores que afectan a la velocidad de reacción. La química en la sociedad y el medio ambiente. Problemas medioambientales: causas y medidas para mitigarlos.	BL3.1. Planificar y realizar experiencias sencillas para distinguir entre cambios físicos y cambios químicos para poder describir experimentos sencillos, identificando reactivos y productos, y comprobar que se cumple la ley de conservación de la masa BL3.2. Realizar experiencias sencillas de laboratorio para comprobar la influencia de determinados factores en la velocidad de las reacciones químicas, como, por ejemplo, la temperatura. BL3.3. Clasificar productos de uso cotidiano en función de su procedencia natural o sintética, asociando los productos sintéticos con la mejora de la calidad de vida y evaluar la importancia de la industria química en la sociedad, así como los problemas medioambientales asociados, proponiendo medidas y actitudes para mitigarlos.
Bloque 3: Los cambios. Curso 3º ESO	
Contenidos	Criterios de evaluación
La reacción química. Ley de conservación de la masa. Factores que afectan a la velocidad de reacción. La química en la sociedad y el medio ambiente.	BL3.1. Explicar las reacciones químicas como cambios de unas sustancias en otras: identificando cuáles son los reactivos y los productos de reacciones químicas sencillas representadas mediante ecuaciones químicas, interpretando la reacción química partir de la teoría atómico-molecular y la teoría de colisiones, comprobando experimentalmente que se cumple la ley de conservación de la masa, ajustando ecuaciones químicas sencillas utilizando el concepto de mol para realizar cálculos estequiométricos básicos. BL3.2. Realizar experiencias sencillas que permitan comprobar la influencia que sobre la velocidad de reacción tiene la concentración de los reactivos, justificando este efecto en términos de la teoría de colisiones, y la temperatura, interpretando situaciones cotidianas en las que la temperatura influye significativamente en la velocidad de la reacción. BL3.3 Clasificar productos de uso cotidiano en función de su procedencia natural o sintética, asociando los productos sintéticos con la mejora de la calidad de vida, y evaluar la importancia de la industria química en la sociedad, así como los problemas medioambientales asociados, describiendo el impacto medioambiental del dióxido de carbono, los óxidos de azufre, los óxidos de nitrógeno, los

	CFC y otros gases de efecto invernadero y proponer medidas y actitudes para mitigarlos.
Bloque 3: Los cambios. Curso 4º ESO	
Contenidos	Criterios de evaluación
<p>Reacciones y ecuaciones químicas. Ley de conservación de la masa. Mecanismo y velocidad: factores que modifican la velocidad de una reacción. Energía de las reacciones: reacciones endotérmicas y exotérmicas. Cantidad de sustancia: el mol. Concentración molar. Cálculos estequiométricos. Reacciones de especial interés: ácido-base, síntesis y combustiones. Aplicaciones.</p>	<p>BL3.1. Utilizar la teoría de colisiones para interpretar reacciones químicas sencillas y deducir la ley de conservación de la masa. BL3.2. Predecir el efecto que sobre la velocidad de reacción tienen distintos factores como la temperatura, concentración...y determinar su carácter exotérmico o endotérmico, a través de experiencias en el laboratorio o con aplicaciones virtuales. BL3.3. Relacionar la cantidad de sustancia, la masa atómica o molecular y la constante del número de Avogadro para realizar cálculos sencillos y aplicarlos al cálculo de la molaridad de una disolución. BL3.4. Escribir y ajustar ecuaciones químicas sencillas de distinto tipo para interpretarlas cuantitativamente y realizar cálculos estequiométricos con ellas, aplicando la ley de conservación de la masa a reacciones en las que intervengan compuestos en cualquier estado, con reactivos puros y suponiendo un rendimiento completo. BL3.5. Realizar experiencias de laboratorio en las que tengan lugar reacciones de síntesis, combustión y neutralización, interpretando los fenómenos observados y, en el caso de las reacciones ácido-base, utilizar la escala de pH para identificar el carácter ácido o básico de las sustancias implicadas. BL3.6. Describir reacciones de interés industrial y los usos de los productos obtenidos, así como las reacciones de combustión, para justificar su importancia en la producción de energía eléctrica y otras reacciones de importancia biológica o industrial.</p>

Tabla 2. Bloques del currículum oficial de Bachillerato, con contenidos y criterios de evaluación, donde se incluyen los cambios químicos.

Bloque 3: Reacciones químicas. Curso 1º Bachillerato	
Contenidos	Criterios de evaluación
<p>Formulación y nomenclatura química Estequiometría de las reacciones: cálculos estequiométricos. Rendimiento de las reacciones. Química e industria. Procesos de obtención de productos inorgánicos. Siderurgia: procesos, productos y aplicaciones. Nuevos materiales: importancia y aplicaciones.</p>	<p>BL3.1. Utilizar la normativa IUPAC para formular y nombrar las sustancias que intervienen en una reacción química dada. BL3.2. Escribir y ajustar ecuaciones químicas sencillas de distinto tipo para interpretarlas cuantitativamente y realizar cálculos estequiométricos con ellas, aplicando la ley de conservación de la masa a reacciones en las que intervengan compuestos en cualquier estado, en disolución, en presencia de un reactivo limitante o un reactivo impuro y considerando el rendimiento de la reacción. BL3.3. Analizar las reacciones químicas que tienen lugar en la obtención de productos inorgánicos de alto valor añadido para evaluar su interés industrial. BL3.4. Explicar las reacciones que tienen lugar en los procesos básicos de la siderurgia y analizar los productos obtenidos para justificar su importancia, relacionando sus aplicaciones con su composición. BL3.5. Utilizar distintas fuentes de información acerca de</p>

	la investigación científica aplicada al desarrollo de nuevos materiales para analizar su importancia y repercusión en la calidad de vida.
Bloque 3: Reacciones químicas. Curso 2º Bachillerato	
Contenidos	Criterios de evaluación
<p>Concepto de velocidad de reacción. Teoría de las colisiones y del complejo activado. Factores que influyen en la velocidad de las reacciones químicas. Utilización de catalizadores en procesos industriales. Equilibrio químico. Ley de acción de masas. La constante de equilibrio: formas de expresarla. Equilibrios con gases. Equilibrios heterogéneos: reacciones de precipitación. Factores que afectan al estado de equilibrio: Principio de Le Chatelier. Aplicaciones e importancia del equilibrio químico en procesos industriales y en situaciones de la vida cotidiana. Equilibrio ácido-base. Concepto de ácido-base. Teoría de Brønsted-Lowry. Fuerza relativa de los ácidos y bases, grado de ionización. Equilibrio iónico del agua. Concepto de pH. Importancia del pH a nivel biológico. Volumetrías de neutralización ácido-base. Estudio cualitativo de la hidrólisis de sales. Estudio cualitativo de las disoluciones reguladoras de pH. Ácidos y bases relevantes a nivel industrial y de consumo. Problemas medioambientales. Equilibrio redox Concepto de oxidación-reducción. Oxidantes y reductores. Número de oxidación. Ajuste redox por el método del ion-electrón. Estequiometría de las reacciones redox. Volumetrías redox. Potencial de reducción estándar. Leyes de Faraday de la electrólisis. Aplicaciones y repercusiones de las reacciones de oxidación- reducción: baterías eléctricas, pilas de combustible, prevención de la corrosión de metales.</p>	<p>BL3.1. Obtener ecuaciones cinéticas reflejando las unidades de las magnitudes que intervienen. BL3.2. Predecir la influencia de los factores que modifican la velocidad de una reacción y explicar el funcionamiento de los catalizadores relacionándolo con procesos industriales, y la catálisis enzimática, analizando su repercusión en el medio ambiente y en la salud. BL3.3. Deducir el proceso de control de la velocidad de una reacción química identificando la etapa limitante correspondiente a su mecanismo de reacción. BL3.4. Interpretar el valor del cociente de reacción comparándolo con la constante de equilibrio, hallar el valor de las constantes de equilibrio, K_c y K_p, en diferentes situaciones de presión, volumen o concentración, relacionar K_c y K_p en equilibrios con gases, y calcular las concentraciones o presiones parciales de las sustancias presentes en un equilibrio químico empleando la ley de acción de masas y el grado de disociación. BL3.5. Relacionar la solubilidad y el producto de solubilidad aplicando la ley de Guldberg y Waage en equilibrios heterogéneos sólido-líquido, aplicarlo como método de separación e identificación de mezclas de sales disueltas y calcular la solubilidad de una sal interpretando cómo se modifica al añadir un ion común. BL3.6. Interpretar experiencias de laboratorio donde se pongan de manifiesto los factores que influyen en el desplazamiento del equilibrio químico, tanto en equilibrios homogéneos como heterogéneos, aplicando el principio de Le Chatelier para predecir la evolución de un sistema en equilibrio al modificar la temperatura, presión, volumen o concentración que lo definen, utilizando como ejemplo la obtención industrial del amoníaco, analizando los factores cinéticos y termodinámicos que influyen para optimizar la obtención de compuestos de interés industrial. (...)</p>

En el trabajo de Aragón, Oliva y Navarrete (2010) se justifica por qué es importante el concepto de cambio químico en la Educación Secundaria Obligatoria: resulta estructurante para el aprendizaje de otros contenidos e imprescindible para interpretar algunos fenómenos de la vida cotidiana y comprender muchas cuestiones que deben formar parte de la cultura científica del ciudadano.

Las estrategias didácticas habituales en la enseñanza del cambio químico suelen ser insuficientes (Furió y Domínguez, 2007). En primer lugar, Johnstone (1982) distingue tres niveles de representación de la materia, el macroscópico, el (sub)microscópico y el simbólico. El nivel macroscópico comprende los materiales y las sustancias tangibles y visibles. El nivel (sub)microscópico abarca las partículas constituyentes de las sustancias (átomos, moléculas, iones, etc.). El nivel simbólico integra las representaciones del nivel microscópico, esto es, símbolos químicos, fórmulas, ecuaciones químicas, ... Parece que el nivel predominante en las aulas suele ser el simbólico (Gabel, 1999). Sin embargo, lo más aconsejable es que el profesorado sea capaz de promover actividades de aprendizaje donde se evidencien los tres niveles de representación y sus relaciones (Jaber y Boujaoude, 2012).

Se ha comprobado que, en las explicaciones de los estudiantes de bachillerato sobre transformaciones químicas, solamente se utiliza o el nivel macroscópico o el nivel microscópico-simbólico (Solsona, Izquierdo y De Jong, 2003). Es destacable el estudio efectuado por Kern, Wood, Roehrig y Nyachwaya (2010) sobre representaciones de las reacciones químicas, en el que participaron estudiantes de *High School* americanos: el 45% utilizó átomos discretos y sólo el 35.1% emparejó dicha representación con una simbólica.

Por otro lado, los estudiantes cuando llegan a las aulas suelen tener ideas previas sobre la materia y sus cambios (Garritz y Trinidad-Velasco, 2003). Recordemos que las concepciones alternativas que sostienen los estudiantes presentan las siguientes características generales (Solbes, Carrascosa y Furió, 2006):

1. Están ampliamente representadas en el aprendizaje de las diferentes disciplinas científicas. Es decir, las ideas alternativas no son exclusivas de un determinado ámbito científico, sino que se extienden por todos los campos de las ciencias
2. Las concepciones alternativas más estables están organizadas en esquemas conceptuales coherentes y son muy resistentes al cambio en la enseñanza habitual.
3. En algunos casos las concepciones alternativas guardan ciertos paralelismos con ideas defendidas a lo largo de la historia de la ciencia por algunos científicos

Así, se ha comprobado que muchos estudiantes tienen dificultades para distinguir entre sustancias puras y mezclas, y transfieren las propiedades macroscópicas de las sustancias a las partículas que las constituyen (Talanquer, 2011). De acuerdo con Furió y Furió (2000) los estudiantes tienen que superar las dificultades conceptuales y epistemológicas sobre los conceptos básicos (naturaleza corpuscular de la materia, sustancia y compuesto químico) como paso previo para poder interpretar adecuadamente los cambios químicos. En muchas ocasiones las concepciones alternativas de los alumnos sobre el cambio químico de los alumnos provienen de los libros de texto (Raviolo, Garritz y Sosa, 2011).

Diversos estudios realizados durante las últimas décadas nos indican algunas de las principales dificultades de los estudiantes en la comprensión del cambio químico (Méndez, 2013):

- Encontrar la diferencia entre cambio físico y cambio químicos
- Identificar en cambio químico como un cambio de las sustancias
- Comprender que se produce una redistribución de los átomos
- Interpretar el significado de una ecuación química ajustada
- Entender por qué se cumple el principio de conservación de la masa.

Tsaparlis (2003) comprobó, mediante un gran número de fenómenos físicos y químicos, que los estudiantes de secundaria griegos tenían problemas para distinguir las transformaciones físicas y químicas (menos del 40% es capaz de hacerlo correctamente). En otros estudios se ha constatado que una parte notable de estudiantes creen que una disolución, los cambios de estado o incluso diluir un concentrado de zumo con agua, etc. son transformaciones químicas (Driver, Squires, Rushworth, y Wood-Robinson, 1999; Kind, 2004).

Por su parte, Özmen y Ayas (2003) encontraron que los estudiantes de secundaria turcos no reconocían la conservación de la masa en algunas reacciones químicas. En este sentido, Furió y Furió (2000) afirman que la aceptación de los estudiantes de la conservación de la masa en una reacción química donde intervienen gases está condicionada por la percepción que éstos tienen sobre la materialidad de los gases.

2. Planteamiento del problema. Objetivos

Atendiendo a las investigaciones que se han mencionado anteriormente, parece que el estudio y comprensión del cambio químico puede presentar dificultades a los estudiantes de educación secundaria, tanto en la identificación, como en la interpretación y representación del cambio químico. El origen de tales dificultades se sitúa, de acuerdo con los investigadores, en la forma de abordar su enseñanza.

Nuestro propósito, dada la escasez de trabajos que traten este aspecto, es analizar la influencia del nivel académico sobre algunas de las ideas de estudiantes de secundaria sobre el cambio químico. En concreto, nuestros objetivos específicos son:

- a) Saber si los estudiantes son capaces de identificar a nivel macroscópico una transformación química.
- b) Determinar si aceptan la conservación de la masa en dicha transformación química.
- c) Conocer cuál es el nivel de interpretación y representación predominante.
- d) Analizar cómo influye el nivel académico en estas ideas sobre la transformación química.

3. Metodología

En el presente estudio han participado 71 estudiantes de un instituto de educación secundaria del área metropolitana de Valencia, de los cuales 28 son de 3º de ESO y 16 de 4º de ESO (científico-tecnológico); y 18 de 1º de Bachillerato y 9 de 2º de Bachillerato (científico y científico-tecnológico). Estos sujetos no parecen tener, a priori, características especiales que los diferencien de otros grupos de los respectivos cursos. No obstante, no se realizó muestreo aleatorio alguno ya que se trató de una muestra de conveniencia. Por ello, los resultados no pueden ser extrapolados, esto es, no hay garantías de validez externa.

En una sesión de clase normal se procedió, ante cada grupo de estudiantes, a introducir un trocito de cinta de magnesio en un tubo de ensayo que contenía ácido clorhídrico concentrado. Se tapó el tubo de ensayo, posteriormente se abrió y se le acercó una llama, observándose una pequeña explosión. A continuación se les administró a los estudiantes un breve cuestionario de preguntas abiertas. Las preguntas son:

1. ¿Qué piensas que ha pasado cuando le hemos añadido la cinta de magnesio al ácido clorhídrico?
2. ¿Puedes dar una explicación de lo que ha ocurrido?
3. Si pesáramos el tubo de ensayo cuando añadimos la cinta de magnesio y una hora después, ¿qué crees que pasaría y por qué?
4. Intenta representar de alguna forma el cambio que se ha producido

Se les pidió a los estudiantes que leyeran cuidadosamente las preguntas formuladas y que las respondieran con la máxima sinceridad. Un autor de este trabajo y un profesor universitario leyeron las respuestas de los estudiantes y propusieron una categorización de las mismas. El grado de acuerdo en la evaluación de las respuestas de los estudiantes se determinó mediante el coeficiente kappa, siendo su valor en todos los casos superior a 0.81, que nos indica un alto acuerdo.

4. Resultados

De la primera pregunta del cuestionario (¿Qué piensas que ha pasado cuando le hemos añadido la cinta de magnesio al ácido clorhídrico?) se recogen seguidamente unos cuantos ejemplos representativos de respuestas de los estudiantes.

Alumno 9: *“El magnesio se ha deshecho en el ácido clorhídrico. Después al encender una llama cerca se ha absorbido la llama al tubo.”*

Alumno 12: *“El ácido ha diluido el magnesio y el gas que ha salido de la reacción es inflamable y se ha encendido.”*

Alumno 15: *“Al mezclar el ácido clorhídrico y el magnesio se ha calentado y ha pasado a ser todo H₂O.”*

Alumno 22: *“Los elementos son muy mágicos.”*

Alumno 30: *“Una reacción química, que al combinarse dos sustancias alteran sus propiedades y características.”*

Alumno 44: *“Que el gas, producto de la reacción, se ha quemado.”*

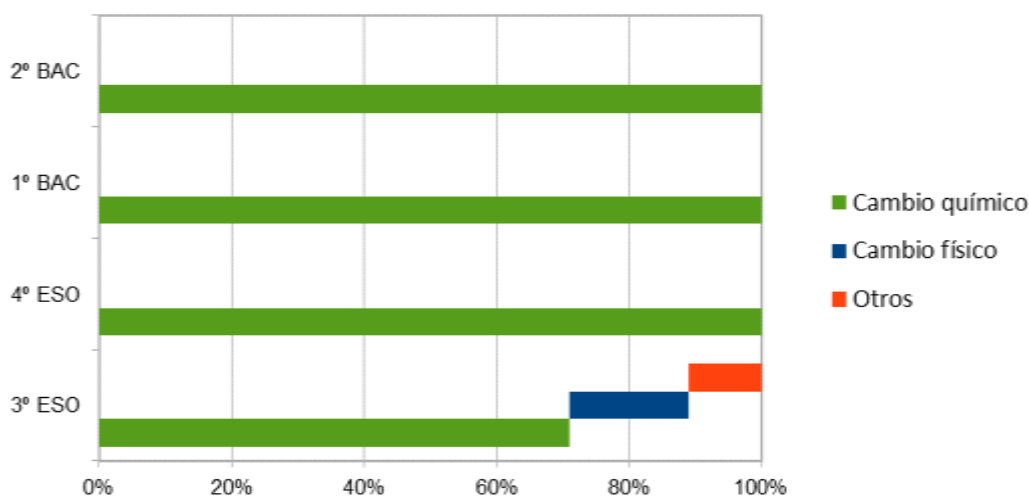
Alumno 57: *“Ha ocurrido una reacción con el Mg y lo HCl creando un producto gaseoso que al acercar una chispa explota”*

Alumno 64: *“En este experimento se ha producido una reacción exotérmica causada por la reacción del ácido clorhídrico con el magnesio dentro de una probeta. En el segundo experimento se ha producido una combustión con el gas resultante de la reacción.”*

La respuesta del alumno 9 es un ejemplo de respuesta de cambio físico. No ha mencionado la formación de ningún compuesto e interpreta el experimento como una disolución. El alumno 22 responde con una incoherencia que se ha interpretado como no sabe, no contesta. Los otros ejemplos son respuestas interpretadas como cambio químico. Se ha visto que conforme aumenta el nivel académico de los alumnos, las explicaciones su más exhaustivas y correctas, independientemente de si la interpretación dada.

Han aparecido tres categorías en las respuestas: las que explícita o implícitamente hacen referencia a un cambio físico o cambio químico, y una tercera categoría que incluye las respuestas que no pueden englobarse en las dos anteriores. Los porcentajes de estudiantes de cada nivel académico en cada una de las tres categorías pueden verse en la Figura 1.

Figura 1. Porcentajes de estudiantes en cada una de las tres categorías y niveles académicos de la pregunta 1.



Como puede observarse, a partir de 4º de la ESO todos los y las estudiantes identifican la transformación como química. Solamente en 3º de ESO hay un porcentaje no significativo (alrededor de un 20%) que creen que es un cambio físico (una buena parte cree que el magnesio se disuelve en el ácido clorhídrico).

De la pregunta 2 (¿Puedes dar una explicación de lo que ha ocurrido?) se ofrecen más abajo algunas respuestas de los estudiantes.

Alumno 6: *“Primero mezcló HCl y Mg en un tubo de ensayo y ha cambiado la temperatura. Después tapó el tubo, quemó el que había dentro y se produjo ruido.”*

Alumno 26: *“Cuando introduces ácido clorhídrico dentro y posas el tapón no entra oxígeno y reacciona todo y hace que el magnesio se disuelva.”*

Alumno 36: *“Al juntarse el magnesio con el ácido clorhídrico, dos sustancias con propiedades diferentes, crean una agitación de las moléculas y estas empiezan a moverse rápidamente y al tapar el tubo de ensayo con un tapón de corcho, este ejerce presión sobre la mezcla la cual forma una enorme agitación de moléculas en todo el tubo como si fueran pelotas rebotando entre sí mismas. Al destapar el tubo, las moléculas continúan alteradas y al posar fuego en el tubo, pues reacciona.”*

Alumno 47: *“Reaccionan las moléculas de cada elemento. Le moléculas empiezan a chocar cada vuelta más rápido y a calentar el tubo de ensayo.”*

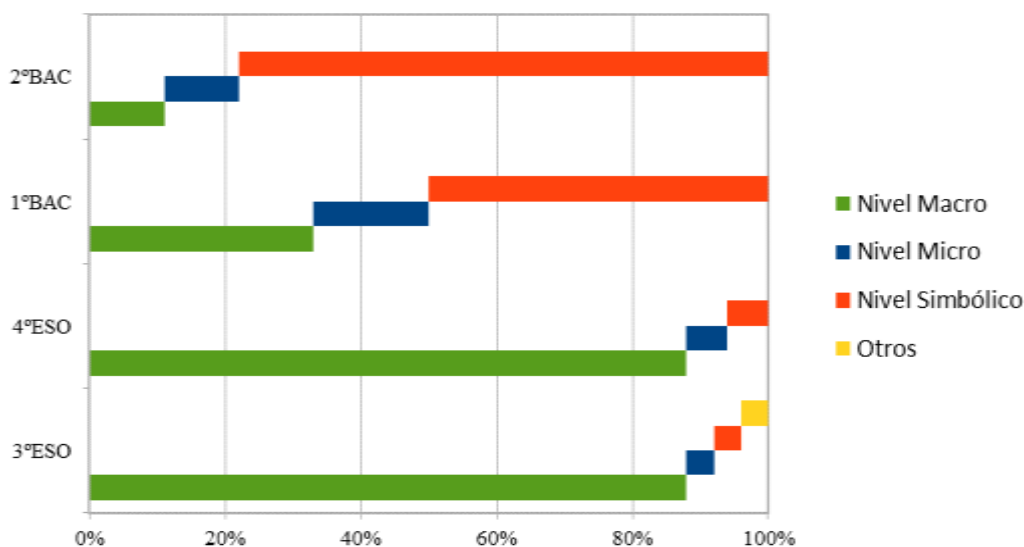
Alumno 60: *“Se ha producido una reacción entre la HCl y el magnesio por la cual se ha liberado energía en forma de calor (reacción exotérmica). Después de esta reacción se ha producido hidrógeno y al abrir la probeta y meter una llama hay una combustión.”*

Alumno 67: *“Cuando la cinta de magnesio ha entrado en contacto con el ácido clorhídrico, se ha producido una oxidación exotérmica donde se ha formado hidrógeno. Al abrir la probeta, el gas hidrógeno ha salido, combustiona y se produce una explosión.”*

Las respuestas de los alumnos 6 y 26 son ejemplos de interpretación macroscópica donde predomina más lo que ellos han visto sin entrar en teorías ni modelos. Por otro lado, las respuestas 36 y 47 muestran interpretación (sub)microscópica, ya que los alumnos explican lo que ha ocurrido mediante la teoría de colisiones moleculares.

Las respuestas han podido clasificarse en cuatro tipos de categorías. Tres de ellas recurren a un tipo de nivel de representación: macroscópico, (sub)microscópico o simbólico (ecuación química). En una cuarta categoría se incluyen las respuestas restantes. En la Figura 2 aparecen representados los porcentajes acumulados de estudiantes en cada una de las categorías en función del nivel académico al que pertenecen.

Figura 2. Porcentajes de estudiantes en cada una de las cuatro categorías y niveles académicos de la pregunta 2.



Se aprecia claramente el incremento de explicaciones mediante el nivel simbólico y microscópico (mucho mayor en el caso del nivel simbólico) a medida que se avanza en el nivel académico, que comporta el decremento correspondiente en las respuestas que utilizan el nivel macroscópico. La aplicación de la prueba “*chi cuadrado*” a la tabla de contingencia construida con el número de sujetos en cada nivel académico y en las categorías explicación de nivel macroscópico, de nivel microscópico, y de nivel simbólico, nos da un valor de $\chi^2 = 34.43$, g.l.= 6, $p < 0.001$. Por tanto, el nivel académico genera diferencias significativas.

Aparecen seguidamente unas cuantas respuestas dadas por los estudiantes a la pregunta 3 (Si pesáramos el tubo de ensayo cuando añadimos la cinta de magnesio y una hora después, ¿qué crees que pasaría y por qué?)

Alumno 4: “Sería diferente porque ha pasado a líquido y esto hace que tenga menos densidad.”

Alumno 17: “Pesará más después”

Alumno 21: “La relación de la masa se mantiene constando (conservación de la masa).”

Alumno 24: “La masa pesa menos porque se descompone el magnesio y se forma gas.”

Alumno 37: “La masa antes y después es constante. Lo que cambia es el volumen.”

Alumno 42: “Ha disminuido puesto que se ha evaporado toda la masa.”

Alumno 45: “La masa se conserva (presenta estados diferentes).”

Alumno 51: “Cuanta más masa de Mg y HCl más calor generará la mezcla y habrá una reacción más grande.”

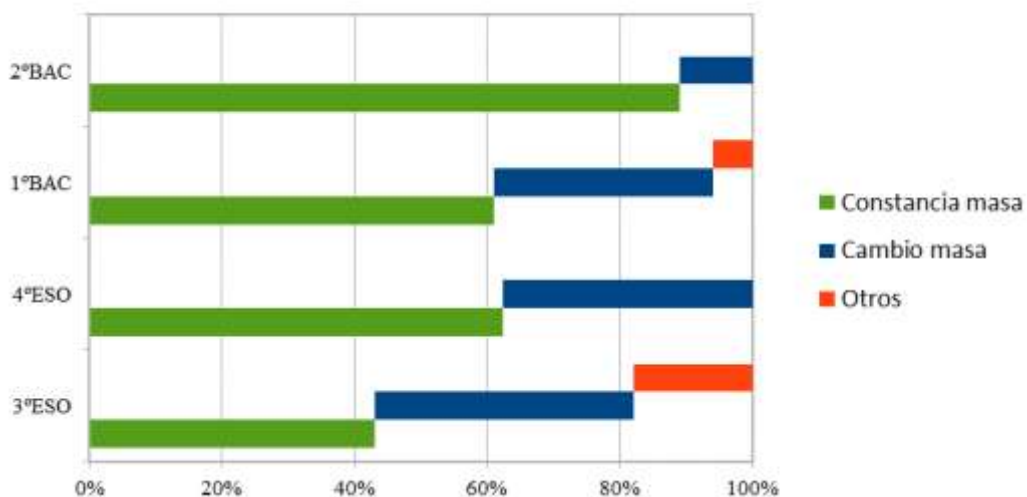
Alumno 69: “La masa del Mg se ha transformado de sólido a gaseoso. Al reaccionar con el HCl, esta masa en forma de gas aumenta la presión en la probeta. La masa no desaparece, puesto que se conserva, pero si se transforma.”

Las respuestas de los alumnos 21, 37, 45 y 69 son claros ejemplos de la comprensión y aplicación del principio de conservación de la masa. Por el contrario, las respuestas 4, 17, 24 y 42 muestran que estos alumnos no han asimilado este principio. Finalmente, la respuesta 51 ha sido catalogada como no sabe, no contesta pues no ha contestado nada en relación con lo que se pregunta.

Muchos de los alumnos han contestado directamente “la masa se mantiene constante” o “la masa aumenta o disminuye”. La categorización de estas respuestas es, pues, clara. Los alumnos que han contestado que la masa no se mantiene constante, en una gran mayoría, han razonado que la “menor” densidad de los gases frente a los líquidos y la desaparición del sólido (Mg) hace que la masa total del sistema sea menor como se puede ver a los ejemplos. Casi todos los alumnos que han contestado que no se mantiene constante tienen la concepción de que los líquidos tienen menor masa que los sólidos y los gases menor que los líquidos (con la excepción del alumno 17, que no dio ninguna justificación, pero afirmó que la masa aumenta).

Se han podido detectar tres tipos de respuestas, que han sido categorizadas en: a) el razonamiento dado está basado en el principio de conservación de la masa (constancia de la masa a pesar de la presencia de un producto de la transformación que es gaseoso); b) no se alude ni explícita ni implícitamente a que la masa tiene que ser igual antes de la transformación y después y sólo se habla de un cambio de masa (o peso); y c) otras respuestas. En la Figura 3 se ofrecen los porcentajes acumulados de estudiantes en la pregunta 3 de acuerdo con la categoría asignada en cada nivel académico.

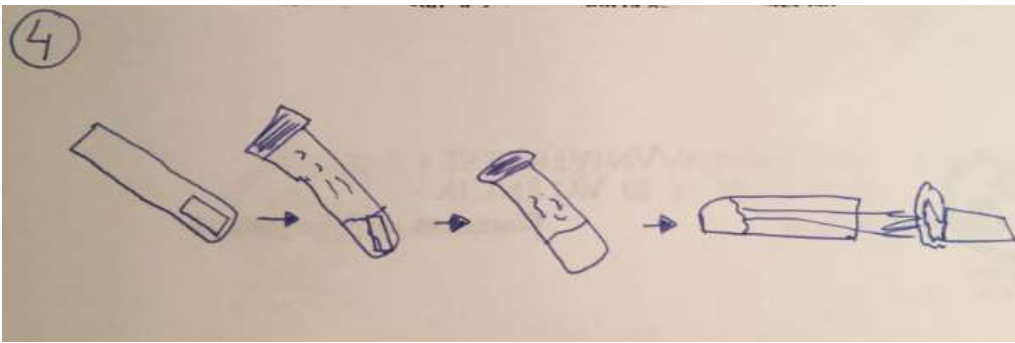
Figura 3. Porcentajes de estudiantes en cada una de las cuatro categorías y niveles académicos de la pregunta 3.



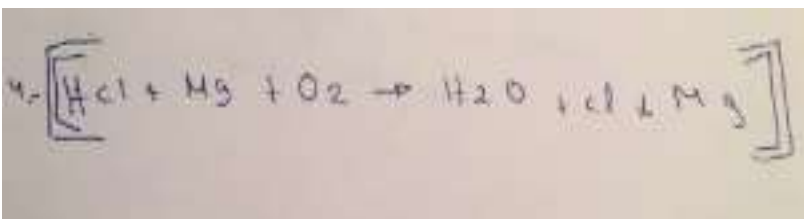
Se ve un aumento de la proporción de estudiantes que son conscientes de que la masa antes y después del cambio químico ha de ser la misma, aunque se genere un gas. Por ello, muchos de estos estudiantes destacan que se debe tapar el tubo de ensayo para que no se escape el gas. La prueba “*chi cuadrado*” corrobora la independencia entre la variable aceptación de la conservación de la masa y el nivel académico: $\chi^2 = 3.77$, g.l.= 3, $p > 0.05$. Esto es, el aumento de estudiantes que responden teniendo como referencia la constancia de la masa no es estadísticamente significativo o, dicho de otro modo, el nivel académico no influye significativamente en la respuesta.

Finalmente, de la pregunta 4 (Intenta representar de alguna forma el cambio que se ha producido) se recogen las respuestas más relevantes de algunos estudiantes.

Alumno 3



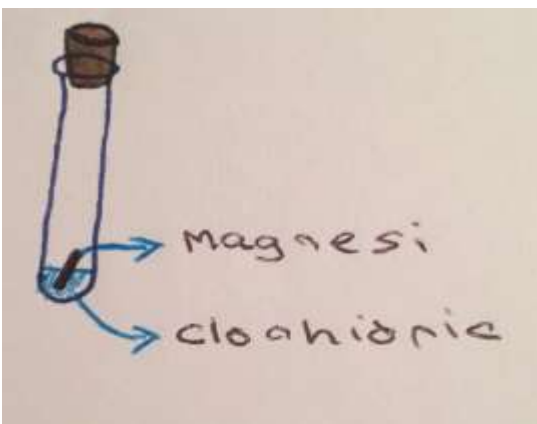
Alumno 11



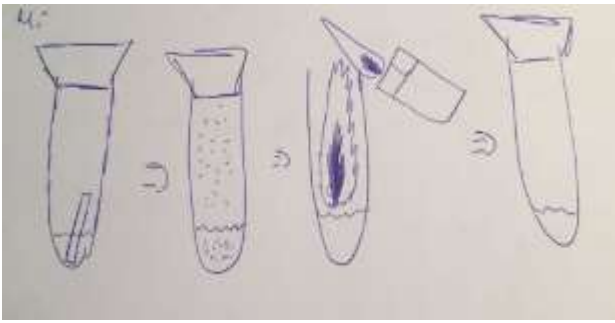
Alumno 16



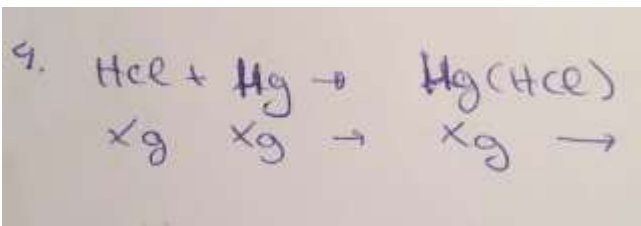
Alumno 23



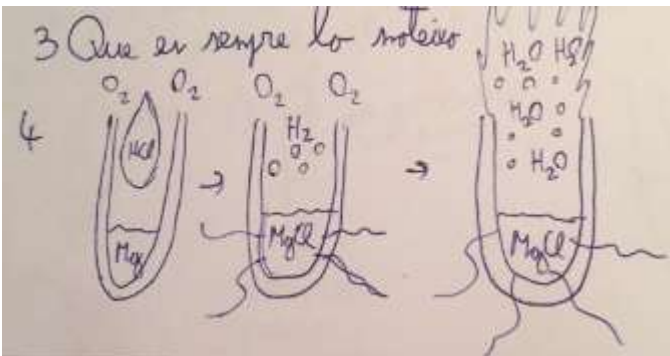
Alumno 41



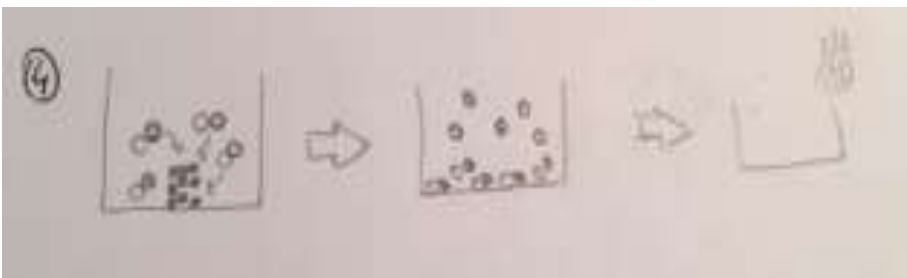
Alumno 48

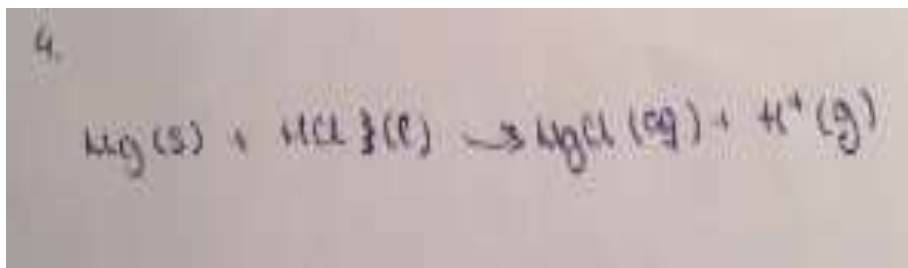


Alumno 52



Alumno 54

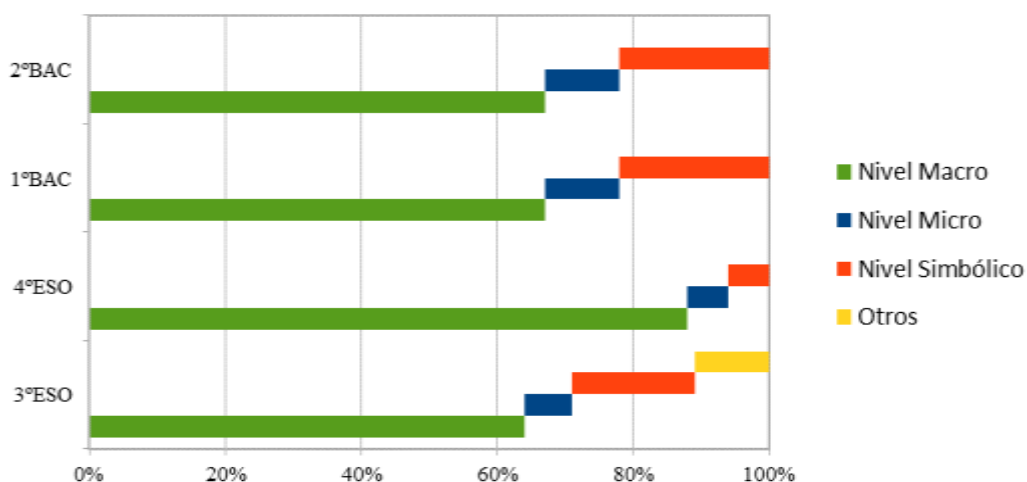




Como se puede ver, las respuestas de los alumnos 3, 16, 23 y 41 muestran representaciones macroscópicas (dibujo de probeta directamente); las respuestas de los alumnos 52 y 54 ofrecen representaciones submicroscópicas (basadas en moléculas) y las respuestas 11, 48 y 71 se dan representaciones simbólicas (reacción química).

Se han podido distinguir también cuatro categorías de respuestas para representar el cambio producido que utilizan un nivel: macroscópico, microscópico, simbólico u otro tipo no clasificable en ninguno de los tres niveles anteriores. En la Figura 4 se recogen los porcentajes de estudiantes en las distintas categorías de acuerdo con su nivel académico.

Figura 4. Porcentajes de estudiantes en cada una de las cuatro categorías y niveles académicos de la pregunta 4.



Resulta curioso observar que cuando se les pide a los estudiantes explícitamente que representen el fenómeno que han observado recurran mayoritariamente al nivel macroscópico, independientemente del curso académico al que pertenezcan. Tanto las representaciones microscópicas como las simbólicas aumentan ligeramente a medida que se avanza en la formación.

La prueba estadística “*chi cuadrado*” revela que no hay una asociación estadísticamente significativa entre la variable nivel de representación y el nivel académico: $\chi^2 = 2.48$, g.l. = 6, $p > 0.05$. En consecuencia, parece que la formación académica en este punto no tiene un efecto apreciable.

5. Conclusiones y discusión

En primer lugar, se han de subrayar las limitaciones de estudio que, fundamentalmente, son dos: se han utilizado una muestra de estudiantes de conveniencia y pequeña, y además sólo se ha planteado un caso de cambio químico sobre el que se ha preguntado a los estudiantes.

De acuerdo con los porcentajes reflejados en la Figura 1, parece que nuestros estudiantes son capaces de reconocer en su gran mayoría una reacción química desde 3º de la ESO (los que no lo hacen son una minoría). Así pues, este estudio no parece confirmar los resultados obtenidos por Tsaparlis (2003).

En cuanto a la explicación del cambio químico en los estudiantes analizados, el nivel académico influye significativamente, incrementándose la utilización del nivel simbólico y el microscópico con el nivel académico, como se ve en la Figura 2 y en los resultados de la prueba "*chi cuadrado*". Esto no ha sido constatado previamente en ningún estudio.

En lo que se refiere al grado de asimilación del principio de conservación de la masa, aunque la Figura 3 confirma que aumenta con el nivel académico, el test "*chi cuadrado*" indica que, en los estudiantes participantes en este estudio, el nivel académico no genera diferencias estadísticamente significativas. Es decir, a pesar de la formación recibida, los estudiantes no acaban de asimilar la conservación de la masa en el cambio químico. Este resultado está en línea con los obtenidos en otras investigaciones, como las de Furió y Furió (2000), Méndez (2013) y Özmen y Ayas (2003).

Por último, señalar que, a diferencia de lo que se ha obtenido en el caso de la explicación del cambio químico, cuando se requiere una representación de la transformación química de forma explícita, no aparece en nuestros estudiantes una asociación significativa entre el nivel de representación de dicho cambio y el nivel académico. La Figura 4 y la prueba "*chi cuadrado*" dejan constancia de ello, mostrando, además, que el nivel de representación macroscópico es el mayoritario en todos los niveles académicos. Esto es acorde con los resultados de Andersson (1990), en los que se pone de manifiesto que los modelos explicativos espontáneos suelen emplear explicaciones descriptivas de carácter macroscópico.

6. Propuestas didácticas

De las ideas de los estudiantes sobre el cambio químico en general y de la conservación de la masa en particular, se colige que se deben modificar las estrategias didácticas con las que se aborda normalmente. Furió y Furió (2000) defienden que el primer obstáculo a vencer por los estudiantes para comprender los cambios químicos es modificar los esquemas que sostienen sobre los conceptos de sustancia química y compuesto químico, en particular, y tienen que aprender a diferenciarlos del concepto de mezcla. En este sentido, la propuesta de Guzmán, Méndez, Romero, Sosa y Trejo (2005) resulta de especial interés, ya que parte de actividades de aprendizaje en el aula para la distinguir sustancia pura de materia y materiales e incluye el uso de analogías.

Otra propuesta muy interesante para la enseñanza del cambio químico la plantean Aragón, Oliva y Blanco (2017). Se trata de un enfoque de enseñanza basado en la modelización, que aúna el objetivo de ayudar a los alumnos a construir modelos coherentes con los aceptados por la comunidad científica y la formación en procesos y valores propios de la actividad científica. Además, esta propuesta recoge otro aspecto muy relevante: la actividad de modelización se realiza a partir de una situación o problema de la vida diaria del estudiante. Su finalidad es hacer que los estudiantes puedan apreciar la necesidad de modelos explicativos para una mejor comprensión del cambio químico, su potencialidad y sus funciones. La lógica evolución de los modelos propuestos por los estudiantes para poder interpretar las evidencias experimentales conduce a mayor aprendizaje y mejores actitudes hacia la ciencia que en una clase tradicional.

Por último, también se propone el uso de la estrategia Predecir-Observar-Explicar (POE), desarrollada por Gunstone y White (1981), como una propuesta muy adecuada para facilitar la comprensión del cambio químico en el alumnado de secundaria. Esta estrategia de aprendizaje es diseñada entorno a tres tareas diferentes que requieren la participación activa de los estudiantes a lo largo de todo el proceso. En la primera tarea se presenta un determinado fenómeno o experimento y los estudiantes deben predecir los resultados y razonar sus respuestas, basándose en sus conocimientos previos. En una segunda tarea se muestra el fenómeno en cuestión, permitiendo la observación directa del suceso a estudiar. A continuación, en la tercera tarea, los alumnos deben explicar las contradicciones existentes entre sus predicciones iniciales y sus propias observaciones. Esta secuencia de actividades permite, por un lado, que el profesorado identifique las concepciones erróneas que presentan los estudiantes sobre el contenido a estudiar y por otro, causa en el propio alumnado un conflicto cognitivo. Ambas condiciones son necesarias para, basándonos en el enfoque constructivista, orientar el proceso de enseñanza-aprendizaje y promover el cambio conceptual en el estudiante, siendo este quien construya su propio conocimiento.

Asimismo, dado su carácter práctico, esta estrategia instruccional resulta particularmente útil en la enseñanza de las ciencias (Miller, 2004) y el desarrollo de habilidades propias de la ciencia mediante la indagación (Hernández-Milán y López-Villa, 2011). Más concretamente en la enseñanza de la química, la utilización de esta estrategia parece mejorar el rendimiento de los estudiantes de secundaria (Sreerekha, Raj, Sankar, 2016) y ser efectiva a la hora de mejorar la comprensión de los estudiantes al trabajar contenidos relacionados con cambios químicos, como las reacciones ácido-base (Kala, Yaman, y Ayas, 2013) o las reacciones Redox (Treagust, Mthembu y Chandrasegaran, 2014).

7. Referencias bibliográficas

- Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations. *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
- Aragón, M. M., Oliva, J. M., y Blanco, A. (2017). Abordando el cambio químico desde una perspectiva de modelización y contextualización: avance de resultados. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, (Extra), 4357-4362.
- Aragón, M. M., Oliva, J. M., y Navarrete, A. (2010). Analogías y modelización en la enseñanza del cambio químico. *Investigación en la Escuela*, 71, 93-114.
- Diari Oficial de la Generalitat Valenciana, DOGV (2015). Decreto 87/2015, de 5 de junio, del Consell, por el que establece el currículo y desarrolla la ordenación general de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato en la Comunitat Valenciana.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P. y Wood-Robinson, V. (1999) *Dando Sentido a la Ciencia en Secundaria: Investigaciones sobre las Ideas de los Niños*. Madrid:Visor
- Furió, C. J., y Furió, C. (2000). Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Educación química*, 11(3), 300-308.
- Furió, C., y Domínguez, M. C. (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. *Journal of Science Education*, 8(2), 84-91
- Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical education*, 76(4), 548-554.
- Garritz, A., y Trinidad-Velasco, R. (2003). Revisión de las concepciones alternativas de los estudiantes de secundaria sobre la estructura de la materia. *Educación química*, 14(2), 72-85.
- Gunstone, R. F., y White, R. T. (1981). Understanding of Gravity. *Science Education*, 65(3), 291-299
- Guzmán, C., Méndez, N., Romero, M., Sosa, P., y Trejo, L. M. (2005). Estrategias para introducir el concepto sustancia y para distinguir cambio químico y cambio físico en alumnos de nivel bachillerato vivos. *Enseñanza de las ciencias*, (Extra), 1-5.
- Hernández Millán, G., y López Villa, N. M. (2011). Precedir, observar, explicar e indagar: estrategias efectivas en el aprendizaje de las ciencias. *Educación Química*, 09, 4-12.
- Jaber, L. Z., y Boujaoude, S. (2012). A macro–micro–symbolic teaching to promote relational understanding of chemical reactions. *International Journal of Science Education*, 34(7), 973-998.
- Johnstone A.H. (1982). Macro- and micro- chemistry. *School Science Review*, 64 (227), 377-379.
- Kala, N., Yaman, F., y Ayas, A. (2013). The effectiveness of Predict–Observe–Explain technique in probing students' understanding about acid–base chemistry: a case for the concepts of ph, poh, and strength. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 11(3), 555-574.
- Kern, A. L., Wood, N. B., Roehrig, G. H., y Nyachwaya, J. (2010). A qualitative report of the ways high school chemistry students attempt to represent a chemical reaction at the atomic/molecular level. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(3), 165-172.

- Kind, V. (2004). *Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química*. México, D. F.: Santillana
- Méndez, D. (2013). ¿Cómo afrontan los alumnos en secundaria las reacciones químicas? *Aula de Encuentro*, 15, 129-137.
- Millar, R. (2004). The role of practical work in the teaching and learning of science. *High school science laboratories: Role and vision*, 1-24.
- Özmen, H., y Ayas, A. (2003). Students' difficulties in understanding of the conservation of matter in open and closed-system chemical reactions. *Chemistry Education Research and Practice*, 4(3), 279-290.
- Raviolo, A., Garritz, A. y Sosa, P. (2011). Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8(3), 240-254.
- Solbes, J., Carrascosa, J., & Furió, C. (2006). Las ideas alternativas sobre conceptos científicos: tres décadas de investigación. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 48, 64-77.
- Solsona, N. y Izquierdo, M. (1999). El aprendizaje del concepto de cambio químico en el alumnado de secundaria. *Investigación en la Escuela*, 38, 65-75.
- Solsona, N. R., Izquierdo, M., y De Jong, O. (2003). Exploring the development of students' conceptual profiles of chemical change. *International Journal of Science Education*, 25(1), 3-12.
- Sreerekha, S., Raj, A., Sankar, S. (2016). Effect predict-observe-explain strategy on achievement in chemistry of secondary school student. *International Journal of Education & Teaching Analytics*. 1 (1). 1-5.
- Talanquer, V. (2011): *El papel de las ideas previas en el aprendizaje de la química*. Barcelona: Graó.
- Treagust, D. F., Mthembu, Z. y Chandrasegaran, A. L. (2014). Evaluation of the Predict-Observe-Explain instructional strategy to enhance students' understanding of redox reactions. En *Learning with understanding in the chemistry classroom* (pp. 265-286). Springer, Dordrecht.
- Tsaparlis, G. (2003). Chemical phenomena versus chemical reactions: Do students make the connection? *Chemistry Education Research and Practice*, 4(1), 31-43.