



# MODELIZACIÓN DEL CAMBIO QUÍMICO A PARTIR DEL MODELO CIENTÍFICO ESCOLAR DE ARRIBO

**ISABEL MIGUEL LÓPEZ**

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
isabel\_miguel\_lopez@hotmail.com

**DULCE MARÍA LÓPEZ VALENTÍN**

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL-AJUSCO (MÉXICO)  
dvalentin@upn.mx

## RESUMEN

Se propone la construcción del 'Modelo Científico Escolar de Arribo' el cual proporciona los criterios orientadores en el diseño y desarrollo de una secuencia didáctica para modelizar el cambio químico en secundaria.

Se describe la forma de proceder para la elaboración del mencionado modelo, las ventajas que ofrece y su aplicación en la modelización del fenómeno de la combustión, como un ejemplo de la reacción química.

Consideramos que la modelización de un ejemplo cotidiano (combustión), el cual posibilita la comprensión del cambio químico por parte del estudiantado de secundaria y facilita la adquisición de aprendizajes significativos, de tal forma que los estudiantes aprenden a pensar, hablar y actuar a través de modelos. Así mismo permite interpretar los fenómenos químicos desde su entorno y, en consecuencia, actuar e intervenir en ellos aplicando el conocimiento desarrollado mediante la actividad científica escolar.

**Palabras clave:** Modelización, cambio químico, combustión, enseñanza de la química, ciencia escolar.

## INTRODUCCIÓN

Vivimos rodeados de cambios químicos que ocurren en todo momento y en todo lugar (en la atmósfera, en las fábricas, en los vehículos, incluso, en nuestro organismo). Son indispensables





para el desarrollo y funcionamiento de la vida, son la base del progreso del hombre, pero también pueden causar serios problemas biológicos, ambientales y sociales si no se tiene el debido conocimiento de cómo y por qué ocurren. Por ello, es importante aprender sobre su naturaleza, riesgos y utilidad.

Una vez que la humanidad logró el conocimiento de las fórmulas y leyes que rigen las combinaciones químicas, ha querido entender la naturaleza de las mismas para poder sujetarlas a su voluntad. Gracias a la investigación, desarrollo y conocimiento de las reacciones químicas se han realizado importantes avances científicos, que satisfacen necesidades y proporcionan comodidades al hombre.

Sin embargo, al revisar la literatura especializada es evidente que la comprensión y el aprendizaje de los principios que rigen los cambios químicos siempre han resultado difíciles para los estudiantes de todos los niveles educativos, por lo que ha representado un reto para los docentes lograr que el alumnado alcance aprendizajes significativos (Izquierdo, 2004; Izquierdo et al., 2007).

Una de las principales causas que originan la dificultad en el aprendizaje de la química radica en que se trata de una ciencia compleja y abstracta cuyos fenómenos de estudio no son fáciles de caracterizar o hacer evidentes, sobre todo cuando se trabaja con gases (Prieto y Watson, 2007). Además, para comunicar esta ciencia es necesario emplear un lenguaje de símbolos y fórmulas, –diferente del lenguaje coloquial– manejar sus instrumentos, relacionar sus conceptos y emocionarse con su mística (Quintanilla et al., 2010). Por lo tanto es muy importante que el tema de cambio químico sea comprendido por los alumnos, ya que de lo contrario se pueden generar obstáculos epistemológicos en el aprendizaje subsecuente (De Vos y Verdonk, 1985).

A continuación se enlistan las principales causas por las cuales la comprensión de la química y en particular del cambio químico ha resultado difícil para los estudiantes:

1. La complejidad y abstracción de los contenidos (Gabel, 1998; Izquierdo, 2004; Izquierdo et al., 2007).





2. La persistencia de las concepciones alternativas que los alumnos poseen al llegar al aula, las cuales permanecen aún después de la instrucción escolarizada (Driver et al., 1989; Garritz, 2000; Treagust, Duit & Nieswandt, 2000).
3. La tendencia a explicar los fenómenos químicos con base en las propiedades físicas de las sustancias, sin comprender que la química se modela con átomos, iones y moléculas. Esta tendencia se debe a la gran influencia de lo perceptivo (Driver et al., 1989; Furió y Furió 2000; Galagovsky et al., 2003; Hatzinikita, Koulaidis y Hatzinikitas, 2005 y Chittleborough, 2014).
4. Los términos cuyo significado es diferente en la química respecto al entorno cotidiano, por ejemplo: sustancia, pureza, ácido, base, radio; entre otros (Hernández y López, 2009).
5. Considerar a la materia de naturaleza continua (Carbonell y Furió, 1987; Kind, 2004; Merino y Sanmartí, 2008; Merino e Izquierdo, 2011).
6. Pensar que las situaciones estables no precisan ninguna explicación. Los estudiantes se interesan más en aquellas situaciones donde son visibles los cambios que en las que permanecen estables, y consideran que solamente las primeras requieren una explicación (Hierrezuelo y Montero, 1989).
7. La sustancialización de las propiedades de los reactivos. Esto implica un razonamiento en donde se plantea al cambio químico como una transformación de las propiedades de las sustancias, no como un cambio que ocurre en la estructura de las mismas (Martín Del Pozo, 1998).
8. La confusión que suelen tener los estudiantes al considerar que los cambios de estado y las disoluciones son cambios químicos (Kind, 2004).
9. La construcción de modelos híbridos para explicar los fenómenos y hacerlos compatibles con sus ideas previas (Treagust, Duit and Nieswandt, 2000; Hernández y López, 2009).
10. Los tres niveles de representación de la química, en donde los docentes transitan cómodamente al pensar y explicar los fenómenos químicos, mientras que para los alumnos dominar estos niveles de representación no resulta fácil (Johnstone, 1982, 1991, 1993; Gabel, 1998; Mocerino, 2009). Ver figura 1.

Los factores arriba enlistados permiten comprender que existen obstáculos epistemológicos difíciles de superar, por lo que es urgente buscar nuevas alternativas de enseñanza que posibiliten el entendimiento y la explicación de los fenómenos químicos por parte de los estudiantes, de manera que:





- a) Sean comprensibles “para todos los estudiantes” (Izquierdo, 2004);
- b) Se relacione la teoría con la práctica mediante la experimentación, la explicación y la intervención de los fenómenos propios de la química (Gabel, 1998; Izquierdo, 2007; Prieto y Watson, 2007; Chittleborough, 2014);
- c) Sea posible desarrollar en el alumnado tanto habilidades cognitivo-lingüísticas como la capacidad de tomar decisiones que contribuyan a su desarrollo personal (Izquierdo, 2004; Izquierdo et al., 2007);
- d) Los estudiantes comprendan y expliquen los fenómenos químicos que ocurren en la naturaleza de manera significativa (Quintanilla, et al., 2010), de tal forma que puedan en consecuencia, intervenir en ellos;

Por lo tanto, en este trabajo planteamos que el Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) planteado por López-Mota y Rodríguez-Pineda (2013) constituye la base teórica para el diseño y desarrollo de secuencias didácticas –en esta propuesta se aborda el fenómeno de la combustión con la finalidad de modelizar el cambio químico–. Consideramos que a través de la secuencia diseñada es posible potencializar en los estudiantes habilidades de pensamiento, lenguaje y acción para interpretar, comprender y comunicar las características del cambio químico no en términos de conceptos; sino en términos de modelos.

## **OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN**

El objetivo de esta investigación consiste en diseñar un modelo teórico *ad hoc* (MCEA) que funcione como eje directriz y, al mismo tiempo como meta a través de una secuencia didáctica, para enseñar el fenómeno de la combustión a estudiantes de secundaria.

## **ANTECEDENTES**

La reacción química es un tema medular en la enseñanza de la química (De Vos y Verdonk, 1985; Caamaño, 2003) ya que permite al alumno comprender los procesos de transformación de la materia, la relación que existe entre las propiedades de los materiales y su estructura, la afinidad de unas sustancias hacia otras, los criterios que rigen la espontaneidad de los cambios químicos,





la energía implicada en tales cambios y la conservación de los elementos químicos tanto en los reactivos como en los productos.

En este trabajo se propone utilizar como ejemplo la reacción de combustión por ser un fenómeno representativo de la reacción química que resulta cotidiano y familiar para el alumnado, por ser relativamente fácil de reproducir en condiciones de laboratorio escolar (e incluso hasta en el aula) y porque la energía que en esta reacción se genera, es ampliamente utilizada por el hombre en forma de energía calorífica y luminosa o trabajo. Con dicha energía es posible satisfacer necesidades tales como la cocción de los alimentos, la calefacción, el transporte o la puesta en marcha de diversos procesos industriales. Así mismo, el entendimiento de éste fenómeno puede ayudar a los estudiantes a evitar accidentes, ya sea en el hogar o en cualquier otro lugar donde manipulen sustancias o materiales combustibles; lo cual constituye una aplicación para la vida.

Nuestra propuesta se fundamenta en el Modelo Cognitivo de Ciencia (MCC) planteado por Giere (1999a y 1999b). De acuerdo con este autor, los modelos son herramientas útiles para explicar las teorías científicas y su relación con los hechos del mundo. Dichos modelos son semejantes a los mapas, ya que nos proporcionan información aproximada a la realidad, pero sin ser la realidad misma.

Los modelos entonces actúan como mediadores entre la teoría y la realidad, y por su carácter semántico, un modelo puede servir de referencia para explicar un conjunto de fenómenos similares.

Desde un enfoque constructivista sobre el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias y, en particular de la química, es importante reconocer la función de los modelos desde esta perspectiva.

Otro aspecto que también orienta nuestra propuesta es la visión de modelo de Schwarz, et al (2009). Esta autora plantea que un modelo es una representación abstracta y simplificada de un fenómeno en la que se expresan sus aspectos centrales e ideas científicas clave mediante elementos, relaciones, operaciones y normas que rigen las interacciones; que pueden ser útiles para explicar y predecir diversos fenómenos naturales estudiados por la ciencia (Schwarz et al., 2009:633).





Tanto Schwartz (2009) como Merino e Izquierdo (2011) argumentan que los modelos pueden representarse de manera simple –destacando sólo lo esencial que sirva para explicar el fenómeno de interés– mediante maquetas, dibujos, fórmulas, símbolos, diagramas o un hecho ejemplar. De esta forma se posibilita la comprensión de los fenómenos del entorno, lo que hace factible diseñar experimentos, hacer predicciones y tomar decisiones informadas sobre una determinada situación del mundo real.

En este trabajo se plantea por lo tanto que la modelización es útil para comprender el cambio químico, ya que a través de la construcción de modelos explicativos se movilizan saberes que permiten describir, predecir, actuar y comunicar (Izquierdo, 2007).

## **METODOLOGÍA**

De acuerdo con López-Mota y Rodríguez (2013) para diseñar una Secuencia Didáctica con base en el MCEA, es necesario tomar en cuenta el modelo de partida de los alumnos –al cual en esta propuesta hemos llamado ‘*Modelo Explicativo Inicial*’ (MEI)–. Así mismo habrá que construir otros tres modelos más: un ‘*Modelo Curricular*’ (MCu), un *Modelo Científico* (MCi) y el MCEA.

Para poder operativizar los tres modelos anteriores, será necesario “formular los enunciados de los distintos modelos en una forma homogénea, de tal manera que sean comparables” (López-Mota y Rodríguez, 2013:2011). La forma en que los modelos se hacen homogéneos, es expresarlos en términos de elementos, relaciones y normas de operación (Schwartz et al, 2009). Para este estudio las normas de operación serán entendidas como condiciones y los elementos del modelo serán llamados entidades, para evitar confusión con los elementos químicos. A continuación se definen los citados modelos:

## **MODELO EXPLICATIVO INICIAL**

En esta propuesta se entenderá como MEI a la forma en que los estudiantes se explican el fenómeno en cuestión. El MEI, es inferido a partir de la revisión de las ideas previas –reportadas en la literatura especializada– que los estudiantes tienen sobre dicho fenómeno. Por lo tanto, este modelo es producto de la investigación teórica.

## **MODELO CURRICULAR**





El MCu se infiere a partir del planteamiento curricular de los planes y programas de estudio sobre el contenido a impartir (López-Mota y Rodríguez, 2013:2009).

## **MODELO CIENTÍFICO**

El MCi se plantea una vez realizada la revisión de libros de nivel superior sobre el tema en cuestión, es el referente científico en donde se plantean las teorías, leyes y principios que dan cuenta del fenómeno en estudio.

## **MODELO CIENTÍFICO ESCOLAR DE ARRIBO**

Este modelo es producto de la tensión entre el MCu y el MCi, así como de la debida transposición didáctica creada para el tópico de estudio en particular.

El MCEA es una propuesta de carácter teórico-metodológica y se postula como una hipótesis directriz que proporciona los criterios orientadores necesarios para diseñar una Secuencia Didáctica. Es un constructo que funciona también como medio para evaluar los avances de los estudiantes en la comprensión del fenómeno de estudio, logrados al aplicar la secuencia diseñada. Esta evaluación es posible a través del '*Modelo Alcanzado*' (López-Mota y Rodríguez, 2013).

## **PROCEDIMIENTO**

1. Indagar en la literatura especializada las ideas previas que tienen los estudiantes de 14 a 15 años sobre la combustión e inferir el MEI.
2. Revisar el tema de la combustión en los Planes y Programas oficiales y en los libros de texto de la asignatura Ciencias III (con énfasis en química). A partir de tal revisión elaborar el MCu.
3. Revisar en libros de licenciatura los temas de cambio químico y la combustión, con ello plantear el MCi.
4. Expresar todos los modelos en términos de entidades relaciones y condiciones para que sean homogéneos.
5. Tensionar el MCu con el MCi y seleccionar mediante la transposición didáctica las entidades, relaciones y condiciones necesarios para la construcción del MCEA.

## **RESULTADOS**





A partir de la revisión bibliográfica se obtuvo suficiente información para construir los siguientes modelos teóricos: MEI, MCu y MCi. Al tensionar el MCu y el MCi se obtiene el MCEA que servirá de base en el diseño de la secuencia didáctica para modelizar el cambio químico. Cabe aclarar que para cada uno de los modelos anteriores se retomó la propuesta de Johnstone (1982, 1991, 1993) sobre los niveles de representación en la Química (macro, micro y simbólico). Ver Tabla 1.

## **CONCLUSIONES**

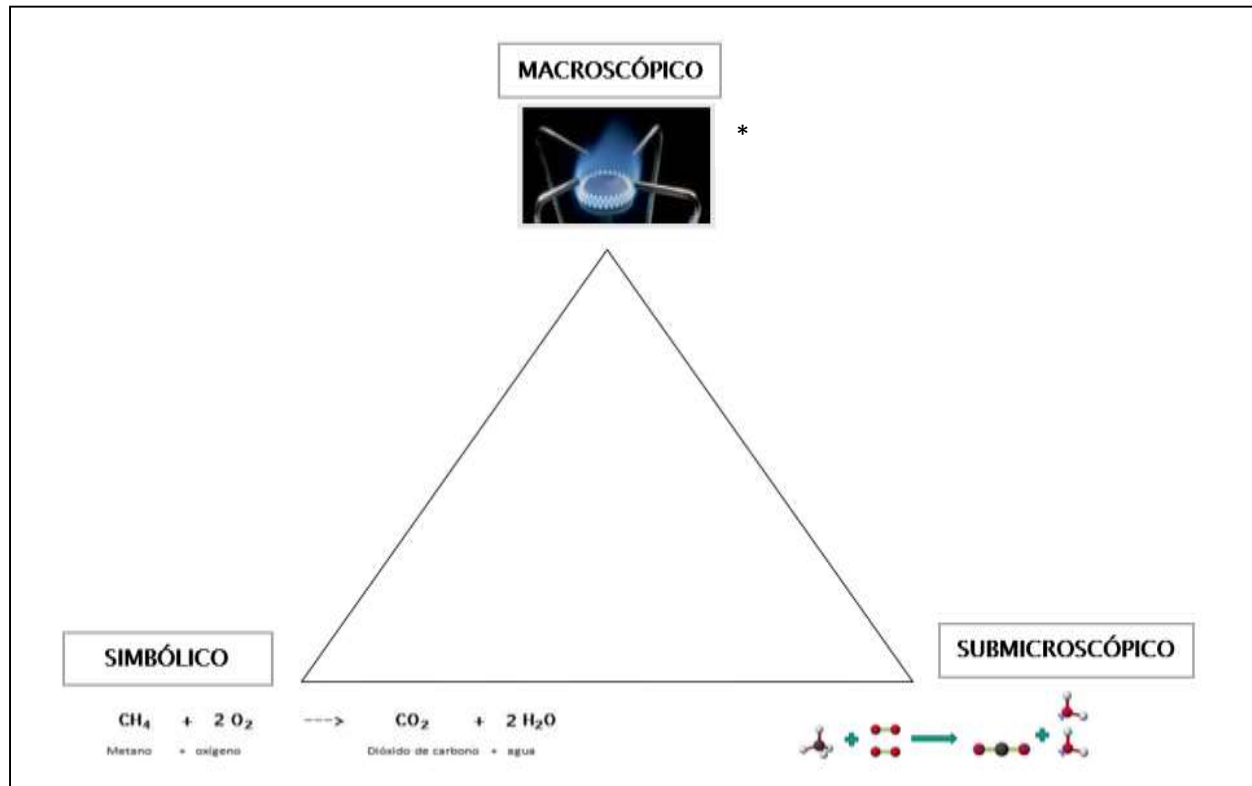
Se ha construido el MCEA para el fenómeno de la combustión a partir de la tensión entre los Modelos Curricular y Científico. El MCEA es la hipótesis directriz que se tomará como base para el diseño de una secuencia didáctica que oriente la modelización del cambio químico para estudiantes de nivel secundaria. La secuencia didáctica se compartirá en otro foro próximamente.

## **TABLAS Y FIGURAS**

Figura 1. Los tres niveles de representación de la química (Johnstone, 1982, 1991, 1993). Adaptado para la reacción de combustión.







\* El combustible que se ve arder en la hornilla es gas butano.





Tabla 1. Modelos teóricos construidos (MEI, MCi, MCu y MCEA) sobre el fenómeno de combustión del metano.

ENTIDADES		MEI	MCi	MCu	MCEA
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Material que se quema</li> <li>2. Fuego</li> <li>3. Humo</li> <li>4. Cenizas</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reactivos: combustible (Oxidante- reductor)</li> <li>2. Energía de activación (chispa, llama) para iniciar el proceso</li> <li>3. Productos: dióxido de carbono, monóxido de carbono, vapor de agua y óxidos de nitrógeno y azufre (dependientes del combustible)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reactivos: Material o sustancia que se quema (combustible)</li> <li>2. Productos: dióxido de carbono y agua.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Material o sustancia (llamada reactivo) cuya propiedad es que pueda quemarse (combustible)</li> <li>2. Algo que inicie la reacción (cerillo, encendedor, mechero)</li> <li>3. Nuevas sustancias (llamadas productos, resultado de la interacción química)</li> </ol>
RELACIONES	NIVEL MACRO	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Salen llamas que provocan que el material se convierta en cenizas y carbón (sólidos)</li> <li>2. Salen humos (gas)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El Iniciador proporciona la energía de activación que inicia la reacción</li> <li>2. Transformación de reactivos a productos (sustancias iniciales a finales)</li> <li>3. Liberación de energía calorífica y luminosa por el <math>-\Delta H</math> (proceso exotérmico)</li> <li>4. Conservación de la masa</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Transformación de reactivos a productos (sustancias iniciales a finales)</li> <li>2. Conservación de la masa</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El iniciador proporciona energía para que la reacción comience</li> <li>2. El material que se quema se transforma en un material diferente</li> <li>3. Manifestación de energía calorífica y luminosa</li> <li>4. Conservación de la masa</li> </ol>
	NIVEL MICRO		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Combinación química en la que los átomos de las sustancias (reactivos), se combinan y reorganizan para formar nuevas sustancias, (productos)</li> <li>2. La energía de activación rompe el enlace <math>sp^3</math> del C-H y provoca una reacción en cadena</li> <li>3. Ruptura de enlaces y formación de nuevos enlaces</li> <li>4. Conservación del número de átomos que implica conservación de la masa</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conservación del número de átomos que implica la conservación de la masa</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reordenamiento de átomos (ruptura de enlaces y formación de nuevos enlaces)</li> <li>2. Conservación del número de átomos, lo que implica la conservación de la masa</li> </ol>
	NIVEL SIMBÓLICO		$^*CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l) + (213 \text{ Kcal/mol})$	$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$	$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$
CONDICIONES			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Oxígeno como comburente</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Oxígeno como comburente</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Oxígeno como comburente</li> </ol>





## **BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS**

- Caamaño, A. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la química. En P. Jiménez (Coord.), *Enseñar Ciencias* (pp.203-228). Barcelona: Graó.
- Carbonell, F. y Furió, C. (1987). Opiniones de los adolescentes respecto del cambio sustancial en las reacciones químicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (1), 3-9.
- Chittleborough, G. (2014). The Development of Theoretical Frameworks for Understanding the Learning of Chemistry. En I. Devetak y S. A. Glažar (Eds.), *Learning with Understanding in the Chemistry Classroom* (pp. 25-40). Dordrecht:Springer.
- De Vos, W. and Verdonk, A. (1985). A new road to reactions Part 1. *Journal of Chemical Education*, 62(3), 238-240.
- Driver, R., Guesne, E. y Tiberhein, A. (1989). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata.
- Furió, C. y Furió, C. (2000). Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Educación química*, 11(3), 300-308.
- Gabel, D. (1998). The Complexity of Chemistry and Implications for Teaching. In B.J. Fraser and K.G. Tobin (eds.), *International Handbook of Science Education (Pt. 1)*, 233-248. Great Britain: Kluwer Academic Publishers.
- Galagovsky, L., Rodríguez, M., Stamati, N y Morales, L. (2003). Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de ciencias naturales. Un ejemplo para el aprendizaje del concepto de Reacción Química a partir del concepto de Mezcla. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 107-121.
- Garritz, A. (2000). De ideas previas y enseñanza de la química. *Educación Química*, 11(2), 211-213.





- Giere, R. (1999a). Del realismo constructivo al realismo perspectivo. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, 9-13.
- Giere, R. (1999b). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, 63-70.
- Hatzinikita, V., Koulaidis, V. y Hatzinikitas, A. (2005). Modeling Pupils' Understanding and Explanations Concerning Changes in Matter. *Research in Science Education*, 35, 471–495. doi: 10.1007/s11165-004-8321-2
- Hernández, G. y López, N. (2009). Obstáculos para la construcción del concepto reacción química. Una propuesta para superarlos. En J. Chamizo (Coord.), *METL2, Papeles de Seminario de Investigación Educativa*. (pp.153-169). México: UNAM.
- Hierrezuelo, J. y Montero, A. (1989). *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la física y la química*. Laia: Madrid.
- Izquierdo, M. (2004). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: contextualizar y modelizar. *The Journal of the Argentine Chemical Society*, 92(4/6), 115-136.
- Izquierdo, M., Sanmartí, N. y Estaña, J. (2007). Actividad química escolar: modelización metacognitiva del cambio químico. En M. Izquierdo, A. Caamaño y M. Quintanilla (Eds.), *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar* (pp.141-163). España: UAB.
- Johnstone, A. H. (1982). Macro- and micro- chemistry. *School Science Review*, 64(227), 377-379.
- Johnstone, A.H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Instruction*, 7, 75–83.
- Johnstone, A.H. (1993). The Development of Chemistry Teaching. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705.
- Kind, V. (2004). Más Allá de las Apariencias. *Ideas previas de los Estudiantes sobre Conceptos Básicos de Química*. México: Aula XXI Santillana.





- López-Mota, A. y Rodríguez Pineda, D. (2013). Anclaje de los Modelos y la Modelización Científica en Estrategias Didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, 2008 - 2013.
- Martín Del Pozo, R. (1998). La construcción didáctica del concepto de cambio químico. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 17, 65-75.
- Merino, C. e Izquierdo, M. (2011). Aportes a la modelización según el cambio químico. *Educación Química*, 22(3), 212-223.
- Merino, C. y Sanmartí, N. (2008). How Young children model chemical change. *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 196–207. doi: 10.1039/b812408f
- Mocerino, M. (2009). Emphasizing Multiple Levels of Representation To Enhance Students' Understandings of the Changes Occurring during Chemical Reactions. *Journal of Chemical Education*, 86(12), 1433-1436.
- Prieto, T. y Watson, R. (2007). Trabajo práctico y concepciones de los alumnos: la combustión. En M. Izquierdo, A. Caamaño y M. Quintanilla (eds.), *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar* (pp.115-140). España: UAB.
- Quintanilla, M., Merino, C. y Daza, S. (2010). *Unidades Didácticas en Química. Su contribución a la promoción de competencias de pensamiento científico*. Colombia: Santander.
- Schwarz, C., Reiser, B., Davis, E., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., Shwartz, C., Hug, B. & Krajcik, J. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accesible and Meaningful for Learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Treagust, D., Duit, R. and Nieswandt, M. (2000). Sources of students' difficulties in learning Chemistry. *Educación Química*, 11(2), 228-235.

