

REPRESENTACIONES MOLECULARES: REFLEXIONES SOBRE SU ENSEÑANZA

FLAMINI, LAURA^{1,2}; *WAINMAIER, CRISTINA*¹

¹ Universidad Nacional de Quilmes, Departamento de Ciencia y Tecnología,

² Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Avellaneda

lflamini@unq.edu.ar; cwainmaier@unq.edu.ar

RESUMEN

Basados en el lugar de privilegio que tienen las representaciones moleculares en la Química, las dificultades que manifiestan los estudiantes en su comprensión, nos propusimos reflexionar sobre cuestiones derivadas de la problemática inherente a su representación e interpretación, de los aspectos epistemológicos que subyacen a las mismas y de su rol como parte del lenguaje que emplea la Química, así como también sobre estrategias que puedan favorecer su comprensión. Hemos fundamentado el presente trabajo, que tiene la expectativa de obtener conclusiones que permitan propiciar mejoras en la enseñanza y en el aprendizaje, en aportes provenientes del campo de la Filosofía de la Ciencia, la Semiótica, la Psicología Cognitiva y la Didáctica de las Ciencias.

Palabras clave: representaciones moleculares, reflexiones, enseñanza.

INTRODUCCIÓN

El concepto de estructura molecular tiene un carácter central para la Química y especialmente en los desarrollos de Geometría molecular o Estereoquímica, las representaciones asociadas a describirla cobran un rol protagónico en la producción de aprendizajes significativos.

Por otra parte, algunos autores (entre ellos, Pozo y Gómez Crespo, 1998) consideran que entre los obstáculos que ofrece el aprendizaje de la Química a los estudiantes se encuentra el manejo del lenguaje altamente simbólico y formalizado en el que se incluyen representaciones que ayudan a la comprensión de lo no observable, tales como las representaciones que permiten describir la conectividad y distribución espacial de los átomos en una molécula.

En este sentido advertimos en nuestra práctica docente, en concordancia con la opinión de colegas, que es posible reconocer dificultades en la comprensión e interpretación de estas imágenes. Numerosos trabajos de investigación corroboran las observaciones realizadas desde la docencia (Arroyo Carmona *et al.*, 2005; Perren y Odetti, 2006; entre otros).

Frente al papel central que tienen estas representaciones para la Química en su carácter de medios y fines del aprendizaje de esta ciencia y basados en las dificultades que manifiestan los estudiantes, consideramos de interés reflexionar sobre cuestiones derivadas de la problemática inherente a su representación e interpretación, de los aspectos epistemológicos que subyacen a las mismas y de su rol como parte del lenguaje que emplea la Química así como también sobre estrategias que puedan favorecer su comprensión. Hemos fundamentado el presente trabajo, que tiene la expectativa de obtener conclusiones que permitan propiciar mejoras en la enseñanza y en el aprendizaje, en aportes provenientes del campo de la Filosofía de la Ciencia, la Semiótica, la Psicología Cognitiva y la Didáctica de las Ciencias.

REPRESENTACIONES MOLECULARES

Lenguaje y comunicación

La Química, a lo largo de casi dos siglos, desarrolló distintos modos de describir y representar la constitución de las moléculas de manera lo suficientemente precisa para poder diferenciar la inmensa cantidad de sustancias. Estos “grafos”, en palabras de Hoffman y Laszlo (1991), son considerados medios para el aprendizaje de la Química y a su vez fines de enseñanza, dado que aprenderlos implica apropiarse del lenguaje que los químicos utilizan para la interpretación de fenómenos (Hoffman y Laszlo, 1991; Matus, L. et al. 2008)

Dado que los procesos de enseñanza y de aprendizaje tienen base en un intercambio comunicacional y su efectividad depende de que docente y alumnos puedan compartir un

lenguaje común (Lemke, 2006) es preciso considerar aspectos característicos del lenguaje que emplea la Química para favorecer la comunicación.

En principio cabe señalar que el lenguaje de la Química resulta multimodal, ya que utiliza de manera simultánea diferentes lenguajes. En este sentido, Galagovsky (2004) distingue cuatro tipos diferentes, que son utilizados en forma complementaria:

- Lenguaje Verbal, empleado en descripciones e interpretaciones de fenómenos.
- Lenguaje Visual, asociado a hechos macroscópicos, no requieren interpretación simbólica.
- Lenguaje Gráfico, describe un contenido simbólico. Ejemplo modelo de bolas y varillas.
- Lenguaje Formal, que apela a símbolos. Se incluyen en esta categoría las fórmulas.

Se reconoce desde la perspectiva de la Semiótica que para que los mensajes emitidos puedan ser decodificados por el receptor del mensaje, en este caso el estudiante, resulta imperante que emisor y receptor compartan códigos y significaciones, es decir que compartan la sintaxis y semántica del discurso (Lombardi *et al.*, 2009). Esta cuestión es de gran relevancia particularmente en el caso de las representaciones que nos ocupan, si se considera que cada uno de estos lenguajes se caracteriza por ciertos códigos y formatos sintácticos característicos y es preciso considerar que el aprendizaje de los mismos no es espontáneo, por lo que deben ser enseñados de un modo específico.

Para Fodor (1998 citado por Galagovsky, 2004) cuando hablamos de códigos nos referimos a convenciones normativas que dan validez a los elementos que conforman los lenguajes. Tal es el caso de las representaciones de átomos por medio de esferas, como ocurre en el modelo de bolas y varillas o el modelo compacto, donde encontramos una serie de códigos implícitos:

- aunque se representen esferas sólidas, la masa no tiene distribución homogénea,
- se emplean colores en forma arbitraria para diferentes tipos de átomos y
- la distribución de los átomos responderá a ángulos característicos deducidos de la teoría que se emplee para interpretar el enlace entre ellos.

Por otra parte, los formatos sintácticos, que caracterizan a cada tipo de lenguaje, están vinculados con las reglas que gobiernan la combinatoria de sus [constituyentes](#) y la formación de unidades más complejas. Así, por ejemplo, para poder escribir e interpretar las proyecciones de Fischer es necesario tener conocimiento de las reglas de ordenamiento que propone este método estándar aplicado a la representación de la Estereoquímica de los centros de quiralidad. De no conocer su sintaxis no podría interpretarse, por ejemplo, que las líneas horizontales corresponden a los enlaces que están hacia delante de la página, y las líneas verticales los enlaces que están atrás de la misma.

Al respecto de lo que venimos diciendo, desde diferentes ámbitos (Lemke, 1997; Perales y Jimenez, 2002) se advierte sobre la necesidad de efectivizar en el aula una adecuada “alfabetización visual” que permita a los alumnos aprender a atribuir significados a estos sistemas de representación en un contexto disciplinar.

Otra arista de esta cuestión la constituye el rol protagónico que tiene el estudiante en la construcción del conocimiento -elaborando sus propias interpretaciones, realizando inferencias, atendiendo a ciertos aspectos que selecciona e ignorando otros- de modo tal que consideramos de relevancia poner una adecuada atención en la modalidad y condiciones que se adoptan para concretar el aprendizaje de los lenguajes de la Química. Hoy se reconoce que el aprendizaje se

produce no sólo a través del lenguaje oral y escrito sino también a través de diferentes representaciones visuales (Lemke, 2006). En relación con éstas existe una creencia generalizada entre los docentes que sostiene que las imágenes facilitan el aprendizaje, sin embargo algunas investigaciones muestran resultados que no coinciden con tal afirmación (Fanaro *et al.*, 2005).

El lenguaje visual puede resultar tan impreciso o ambiguo como el verbal o escrito. Por lo tanto, dado el carácter polisémico de las representaciones empleadas en Química, resulta difícil poder predecir que es lo que puede interpretar el sujeto, ya que depende de sus necesidades de información, sus estrategias para procesar dicha información, sus conocimientos previos y sus capacidades. Esta cuestión no es menor, y si bien se sabe aún poco acerca de cómo las representaciones de los estudiantes interactúan con las diversas representaciones que usamos los docentes en las clases de Química, la falta de consideración en el aula de la pluralidad de significaciones que puede otorgar el estudiante a las mismas, la ausencia o las limitaciones en la explicitación de la sintaxis propia de cada representación, así como también de las conexiones referenciales entre los diferentes tipos de representaciones pueden ser elementos fundamentales que obstaculizan el aprendizaje de los modelos químicos (Guevara y Valdez 2004).

Multiplicidad de representaciones y habilidades visoespaciales

La comprensión de conceptos y la resolución de situaciones problemáticas vinculadas a la estructura molecular, requieren de los estudiantes la capacidad de reconstruir imágenes en dos dimensiones en formas tridimensionales, para recrearlas mentalmente y poder manipularlas. Reconocer que dos imágenes corresponden a una misma molécula o no, implica traducirlas a representaciones espaciales y orientarlas de forma apropiada para poder verificar su concordancia. Sin embargo no todos los estudiantes tienen las mismas habilidades visoespaciales. Fensham (2002) distingue como habilidades visoespaciales a la visualización (capacidad de percibir objetos tridimensionales a partir de representaciones bidimensionales), la orientación (asociada a la habilidad de imaginar como cambia una representación desde distintas perspectivas) y la operación (consiste en reconocer los efectos producidos por rotación, reflexión).

Numerosos trabajos reconocen la dificultad que representa para los estudiantes el manejo de representaciones tridimensionales, incluso en el ámbito universitario (Perren y Odetti, 2006; Pérez Benítez, 2008). Los resultados de una investigación desarrollada por Arroyo-Carmona *et al.* (2005) ratifican que un elevado número de estudiantes de nivel superior y universitario de diferentes estados de México no reconocen conceptos básicos de geometría, requeridos para el aprendizaje de Geometría Molecular o Estereoisomería, tampoco son capaces de diferenciar o dibujar cuerpos geométricos en proyección ni interpretar correctamente las proyecciones.

Investigaciones desarrolladas en diversos campos alertan sobre el escaso interés que recibe desde la práctica educativa la implementación de acciones que favorezcan el desarrollo de competencias relacionadas con el pensamiento visual y la cognición visoespacial de los estudiantes en etapas tempranas del sistema educativo (Álvarez Rodríguez, 2007)

Todo lo antedicho nos conduce a pensar que no se puede aceptar que la interpretación de las imágenes de las representaciones moleculares resulten para los alumnos una destreza adquirida. Nuestra experiencia docente, en coincidencia con lo señalado por colegas y los propios estudiantes, dan cuenta de la problemática asociada a las habilidades visoespaciales para la

comprensión de las representaciones moleculares. En tal sentido, resulta muy recomendable recurrir a representaciones virtuales ó modelos tridimensionales que permiten mejorar la visualización espacial.

Centrando ahora el interés en la multiplicidad de representaciones de las que hace uso la Química, cabe señalar que el nivel de simbolización de las representaciones moleculares resulta muy variado. En ese sentido es posible recuperar una idea a la que aluden diversos trabajos (Perales y Jimenez, 2002; Matus *et al.*, 2008). Nos referimos al grado de iconicidad, definido como el grado de realismo de una imagen por comparación con el objeto que representa (Pro, 2003): cuanto más abstracta sea la imagen menos icónica será. Así, la representación molecular por medio del modelo compacto resulta más icónica que la de cuñas y líneas punteadas.

Basados en las contribuciones realizadas por Matus Leites *et al.* (2008) para un estudio sobre las imágenes vinculadas al enlace químico, distinguimos diferentes clases de representaciones moleculares (Flamini, 2010). Utilizamos como criterio de diferenciación entre las mismas el grado de simbolización que manifiestan, fundamentalmente teniendo en cuenta en qué medida dejan en evidencia el carácter tridimensional de la estructura molecular, aspecto a partir del cual se evalúa su grado de similitud con el objeto de estudio. Distinguimos:

- Modelo compacto
- Modelo de bolas y varillas
- Cuñas y líneas punteadas
- Fórmulas desarrolladas o estructurales en perspectiva
- Proyección en caballete. Diagrama de rayas. Fórmula enlace-línea o diagrama del esqueleto carbonado. Modelo de varillas
- Fórmulas desarrolladas o estructurales planas
- Proyecciones de Fisher
- Proyecciones de Newman

¿Cuáles resultan ser las representaciones más adecuadas? La elección no está determinada únicamente por el grado de iconicidad, también está dirigida por la finalidad que viene a cubrir dicha imagen, es decir que es lo que se busca mostrar. Así resulta que el alto grado de iconicidad de una representación (modelo compacto, por ejemplo) puede conspirar con la visualización de mecanismos de reacción, lo que hace que una representación menos icónica resulte más apropiada (fórmula estructural, por ejemplo). Una de las razones de realizar la discriminación entre representaciones de grado de simbolización diferente, radica en que provee la posibilidad de identificar situaciones en las que se emplean simultáneamente representaciones de diferente grado de abstracción, hecho que resulta un aspecto favorecedor para interpretar estructuras tridimensionales (Guevara y Valdez, 2004).

Teniendo en cuenta el carácter polisémico de las imágenes y las dificultades de los estudiantes asociadas a las habilidades visoespaciales, es posible la incorporación de recursos didácticos que resulten apropiadas herramientas para favorecer la orientación, rotación y visualización espacial en los estudiantes, entre los cuales es posible identificar:

- Recursos orientadores: aquellos indicadores o herramientas visuales que favorecen la comprensión de la imagen. En el caso de la representación de estereoisómeros podrían considerarse el uso de planos de simetría; de colores o esferas de diferente tamaño para

diferenciar los grupo unidos al carbono asimétrico; el dibujo del observador para especificar el punto de referencia desde el cual se determina la configuración absoluta de una molécula. Hemos identificado estos recursos en un estudio sobre el tratamiento que reciben las imágenes empleadas en Estereoisomería en los libros de texto universitarios (Flamini, 2010).

- Multiplicidad de representaciones: se refiere al uso simultáneo de imágenes de diferente grado de iconicidad para representar una misma molécula, situación a la que hacen referencia Guevara y Valdez (2004) como favorecedora del pensamiento visoespacial. También en el análisis de textos de Química Orgánica hemos detectado la representación simultánea de imágenes de igual grado de iconicidad de diferentes estereoisómeros, con ese mismo objetivo (Flamini, 2010). Diversos trabajos (Guevara y Valdez, 2004, entre otros) proponen estrategias tendientes a superar las dificultades por medio de diversas acciones: describir cómo se puede trasladar de una a otra clase de representación; establecer conexiones referenciales entre las mismas y promover la transformación entre representaciones bidimensionales y tridimensionales.

Aspectos epistemológicos

Hasta ahora hemos hecho referencia a la gran variedad de representaciones de las que se vale la Química para describir la estructura molecular y a cuestiones vinculadas con la comunicación y el lenguaje, que consideramos pueden generar condiciones más propicias para un aprendizaje comprensivo de éstas. Pero, ¿Puede concluirse que un estudiante ha aprendido comprensivamente estas representaciones si no tiene en claro la naturaleza y funcionalidad de las mismas o si no es capaz de establecer algún tipo de relación entre éstas, el marco teórico y la realidad? Desde diversos campos algunos autores han venido insistiendo sobre la importancia de profundizar en cuestiones como éstas para un adecuado aprendizaje de la Química (Hoffman y Laszlo, 1991; Schummer, 1998; Alzate *et al.*, 2006; Benarroch, 2008). Por nuestra parte consideramos que estas son cuestiones fundamentales, de modo que vale un espacio de reflexión sobre las mismas.

Como es sabido, las estructuras moleculares y sus representaciones no se encuentran en la naturaleza, sino que son ante todo construcciones del pensamiento y la validez de las mismas tienen base en un cuerpo teórico. Este conjunto heterogéneo de representaciones pictóricas manifiestan diferencias en cuanto a los marcos conceptuales con que se asocian, a las reglas de interpretación que las rigen, así como también a la pertinencia, de acuerdo a la característica o fenómeno que se desea estudiar.

La relación, entre las representaciones moleculares y el cuerpo de conocimientos que las valida, fue planteada ya hace tiempo por G. Bachelard (1940: 51), quien expresa: “Primeramente la filosofía química colocó bajo la sustancia esquemas y formas geométricas, los cuales, en su primera apariencia, eran por completo hipotéticos, pero que poco a poco se valorizan racionalmente, mediante su coordinación dentro de un vasto conjunto doctrinal”. Este vínculo también es señalado por Schummer (1998), quien afirma que una representación molecular es el resultado de una teoría, sin la cual no es posible interpretarla, y afirma que algunas de las imágenes empleadas para describirlas se corresponden a la Química Clásica y otras a la de la

Química Cuántica. Ambos grupos, para este autor, están sustentados por distintos marcos teóricos, tienen diferentes alcances explicativos, descriptivos y predictivos, y cada uno presenta sus propias normas de interpretación. En la descripción de las características de estas dos categorías de representaciones destaca otras diferencias que se pueden establecer entre ellas, tal como el carácter funcional de las representaciones de las estructuras moleculares. Esta funcionalidad hace referencia a la conveniencia del uso y la validez de representaciones según el contexto de aplicación: algunas serán más apropiadas que otras, dependiendo del objetivo que se persiga y de la información que se desee comunicar.

Siguiendo con la clasificación propuesta por Schummer (1998), encontramos un conjunto heterogéneo de representaciones en dos y tres dimensiones, a las que designa como “grafos topológicos o fórmulas estructurales”. El autor incluye en este grupo una gran variedad de imágenes, además de las comúnmente denominadas “fórmulas estructurales”, por ejemplo, los modelos de cuñas y líneas punteadas. A estas representaciones las considera más cercanas a la Química Clásica, ricas en información: hablan del número y clase de elementos que constituyen la molécula, la valencia de los elementos que participan y la ubicación de los grupos funcionales. Aspectos vinculados a la geometría molecular (como los ángulos de enlace, por ejemplo) no quedan plasmados en las imágenes, sino que son datos que deberían ser inferidos por el lector.

Es de destacar el importante papel de estas representaciones en el desarrollo de la sistematización del conocimiento y en la interpretación de los procesos de síntesis (Alzate *et al*, 2006). Bachelard (1940: 51) da cuenta de dicho impacto y al referirse a las fórmulas estructurales específicamente las define como el “sustituto racional que da, por la experiencia, una contabilidad clara de las posibilidades” y agrega: “Se dan entonces, experiencias químicas que aparecen a priori imposibles porque las fórmulas desarrolladas lo prohíben”. Sostiene más adelante: “Se razona sobre una sustancia química desde que se ha establecido su fórmula desarrollada”. Para comprender esta afirmación pensemos en la información que almacenan acerca de la riqueza de relaciones que es posible establecer. La fórmula estructural del ácido acético, por ejemplo, nos dice que esa sustancia puede reaccionar para formar ésteres, amidas, alcoholes, aldehídos, que además puede obtenerse a partir de etanol, entre otras relaciones. Desde esta perspectiva, bajo la fórmula estructural subyace una red de conceptos, resultando ser más adecuadas en la predicción de propiedades químicas, diferenciándose de las representaciones geométricas en la flexibilidad y la posibilidad de manipulación en la dinámica de las transformaciones.

En los últimos años y a causa del auge de los sistemas informáticos se ha observado una creciente utilización de imágenes alusivas a la representación espacial de las moléculas, comúnmente denominadas “modelos moleculares” (Alzate Cano, 2006). Entre ellas encontramos los modelos compactos, de bolas y varillas y los mapas de potencial electrónico. Estas imágenes muestran aspectos de las moléculas tales como ángulos, longitud y polaridad de los enlaces. Los datos necesarios para su construcción se obtienen, en la mayoría de los casos, mediante estudios de resonancia magnética nuclear y difracción de rayos X. Schummer (1998) sólo incluye dentro de la categoría de representación geométrica (también designados por este autor como grafos geométricos) a aquellas imágenes en las que se especifican los valores asignados a cada uno de los parámetros mencionados. Señala que estas representaciones son el resultado de una red de conceptos pero a su vez también de datos empíricos (mediciones espectroscópicas y cálculos provenientes de la Química Cuántica) que podrían ser mejor explotadas como herramienta de

predicción e inferencia si se remitiera a la teoría que los sustenta. Coincidimos con Alzate *et al.* (2006) en incluir en este grupo las representaciones mencionadas anteriormente (modelo de varillas, bolas y varillas, compacto, entre otros) por entender que si bien no señalan datos numéricos concretos sobre ángulos y longitudes de enlace, permiten inferir la forma tridimensional de la molécula que representan.

El marco teórico asociado a estas representaciones -incluyendo, según nuestra opinión, aún aquellas en las que no se consignan datos- está conformado por el modelo mecánico-cuántico y/o la teoría de repulsión de pares de electrones de valencia. Pese a esta concepción, se las suele presentar como representaciones gráficas estáticas, donde núcleos y electrones aparecen como objetos clásicos. Resulta así, una mezcla de ideas clásicas, preclásicas y cuánticas que inducen a un caos conceptual (Alzate, *et al.* 2006).

El amplio campo de empleo de los distintos tipos de representaciones y la relevancia de los conceptos que implican no se corresponden muchas veces con el valor que se les otorga en la enseñanza. En tal sentido Alzate *et al.* (2006) señalan que tanto el concepto de estructura molecular como el uso de sus diferentes representaciones son asumidos por la enseñanza de la Química de un modo simplista, lo que limita a los estudiantes a su manipulación como símbolos vacíos, no reconociendo su complejidad ni la amplia red de conceptos que está involucrada en estas representaciones. Tampoco suelen ser tratadas en la categoría de instrumentos de sistematización de la información y de descripción, racionalización y predicción de fenómenos. En este sentido se puede afirmar que la enseñanza de la Química destina un reducido espacio para la reflexión epistemológica y conceptual acerca de la pluralidad y funcionalidad de la estructura molecular, encontrando este hecho como posible origen de las dificultades que presentan los estudiantes para incorporar a su estructura cognitiva la representación molecular y su sistema simbólico.

Por nuestra parte en el estudio realizado sobre libros de texto de Química Orgánica de nivel universitario (Flamini, 2010) no encontramos prácticamente referencias a los aspectos epistemológicos tales como los mencionados, lo que conduce a pensar en una posible limitación de su tratamiento en el aula. Al respecto de lo que venimos diciendo coincidimos con los aportes de Benarroch *et al.* (2008), sobre la necesidad de tomar conciencia sobre cuál es la naturaleza de lo que se enseña, resaltando que si bien las imágenes empleadas en la representación de la estructura molecular no son copias de la realidad, tampoco son invenciones arbitrarias para lo cual sería favorable instalar ésta reflexión en el ámbito de la enseñanza de Química.

CONCLUSIONES

En este trabajo nos propusimos abrir un espacio de reflexión sobre aspectos derivados de la problemática inherente a la interpretación de las representaciones moleculares, de los aspectos epistemológicos que subyacen a las mismas y de su rol como parte del lenguaje que emplea la Química vinculándolos con el aprendizaje. Lo que nos ha conducido a identificar algunas acciones que consideramos relevantes en la enseñanza de representaciones moleculares:

- Seleccionar representaciones que pongan en evidencia el carácter tridimensional de las moléculas.

- Explicitar las reglas que rigen la decodificación e interpretación de estas representaciones.
- Hacer uso de recursos orientadores que favorezcan la captación del carácter espacial de las estructuras.
- Emplear simultáneamente representaciones diversas, para una misma estructura molecular.
- Considerar aspectos epistemológicos de las representaciones moleculares y el papel que cumplen como valiosos instrumentos de comunicación de información en el campo de la Química.
- Favorecer una adecuada alfabetización visual a lo largo de los diferentes niveles educativos.

Esperamos que este trabajo, aunque acotado, contribuya al tratamiento de la representación molecular en las aulas de Química y que sus derivaciones propicien mejoras en la enseñanza y en el aprendizaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez Rodríguez, S. (2007). Procesos cognitivos de visualización espacial y aprendizaje. *Revista de Investigación en Educación. Universidad de Vigo*, (4): 61 – 71.

Alzate Cano, M., Caballero, C. y Moreira, M. (2006). Multiplicidad funcional de la representación molecular: Implicaciones en la enseñanza y aprendizaje de la Química. *Revista Electrónica de investigaciones en Educación en Ciencias*, 1(2): 1-26

Arroyo Carmona, R., Fuentes López, H., Méndez, M. y Pérez Benítez, A. (2005). La geometría: ¡Un pie que cojea en la enseñanza de la estereoquímica! *Educación Química*, 16 Número extraordinario N° 1: 184-191.

Bachelard, G. (1940). *La filosofía del no*. Barcelona: Amorrortu Editores.

Benarroch, A., Matus, L., Perales, F. y Nappa, N. (2008). ¿Hay criterios unánimes en los modelos moleculares químicos que se enseñan en las distintas etapas de la educación secundaria? *XXIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. 9-12 de septiembre de 2008: 1047-1057. Ed. Universidad de Almería. Consultado el 13/06/08. Disponible en <http://www.23edce.com/wpcontent/themes/blog/descargarComunicación2GE T.php?trabajo=89>.

Fanaro, M., Otero, M. y Greca, I. (2005). Las imágenes en los materiales educativos: las ideas de los profesores. *Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. 4(2). Disponible en: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen4/AR T2_Vol4_N2.pdf. Consultado: 2/3/08.

Fensham, P. (2002). Implications, large and small, from chemical education research for the teaching of chemistry. *Química Nova*, 25(2): 335-339.

Flamini, L. (2010). Imágenes sobre Estereoisomería: Análisis de su tratamiento en libros de texto de nivel universitario” *Tesina de Licenciatura*. UTN FRA. Directora: Wainmaier, C.

Galagovsky, L. (2004). Del aprendizaje significativo al sustentable. Parte 2: Derivaciones comunicacionales y didácticas. *Revista Enseñanza de las ciencias*, 22 (3): 349-364.

Guevara, M. y Váldez, R. (2004). Los modelos en la enseñanza de la Química: dificultades asociadas a su enseñanza y a su aprendizaje. *Revista Educación Química*, 15 (3): 243-247.

Hoffmann, R. y Laszlo, P. (1991). Representation in Chemistry. *Angewandte Chemie Int. Ed. Engl*, 30 (1): 1-15.

Lemke, J. (1997). *Aprender a hablar en ciencias*. Barcelona: Ed. Paidós.

Lemke, J. (2006) Investigar para el futuro de la educación científica: nuevas formas de aprender, nuevas formas de vivir. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 24 (1): 5-12.

Lombardi, G., Caballero, C. y Moreira, M. (2009). El concepto de representación externa como base teórica para generar estrategias que promuevan la lectura significativa del lenguaje científico. *Revista de Investigación*, N° 66: 147- 186.

Matus Leites, L., Benarroch, A. y Perales Palacios, F. (2008). Las imágenes sobre enlace usadas en los libros de texto de educación secundaria. Análisis desde los resultados de la investigación educativa. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 26(2): 153-176.

Perales Palacios, F. y Jimenez, J. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Revista Enseñanza de las ciencias*, 20 (3): 369-386.

Pérez Benítez, A. (2008) La equivalencia entre las paridades de los intercambios de dos sustituyentes y las reflexiones especulares, en la determinación de la quiralidad de átomos tetraédricos: ¡Una demostración con espejos! *Educación Química*. 19 (2): 146- 151

Perren, M. y Odetti, H. (2006) Dificultades especiales en un curso de Química General. *Educación en la Química*, 12 (1): 3-11.

Pozo, J. y Gómez Crespo, M. (1998). *Aprender y enseñar ciencias*. Madrid: Ed. Morata,

Pro, M. (2003). *Aprender con imágenes*. Barcelona: Ed. Paidós.

Schummer, J. (1998). The Chemical Core of Chemistry I. A conceptual approach. *HYLE. Internacional Journal for Philosophy of Chemistry*, 4(2): 129-162.