

Modelos mentales de transformaciones químicas. Su construcción en un curso de ingreso que utiliza un entorno virtual de enseñanza y aprendizaje

Mental models of chemical transformations. Their construction by utilizing a virtual environment in a preparatory course

Liliana Pilar de Borbón y María Fernanda Ozollo

Facultad de Ciencias Agrarias y Facultad de Educación Elemental y Especial,
Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.

Email: lborbon@fca.uncu.edu.ar; fozollo@uncu.edu.ar

Resumen

En esta investigación se estudia el proceso de construcción de los modelos mentales de distintos tipos de transformaciones químicas de compuestos inorgánicos, realizado por los aspirantes a ingresar a la Facultad de Ciencias Agrarias que utilizan el campus virtual de la Universidad Nacional de Cuyo. Se compararon y analizaron las producciones escritas realizadas a lo largo del curso de Química por los alumnos de tres cohortes. Un aprendizaje significativo implica la construcción de modelos mentales consistentes con los modelos conceptuales, los cuales son científicamente aceptados, y la utilización de los mismos para explicar y predecir fenómenos macroscópicos. Como conclusión relevante se puede mencionar que el uso de recursos multimediales favorece la formación de modelos mentales consistentes con los modelos conceptuales, pero esto depende en gran medida de las características de la tarea solicitada.

Palabras claves: modelos mentales; transformaciones químicas; entorno virtual; curso de ingreso; química.

Abstract

In this research we studied the process of building mental models of different types of chemical transformations of inorganic compounds, made by students aspiring to enter the Facultad de Ciencias Agrarias of Universidad Nacional de Cuyo using the virtual environment of this university. For this purpose, were compared and analyzed the written productions made by the students of three cohorts during the Chemistry course. Meaningful learning involves the construction of mental models consistent with the conceptual models, which are scientifically accepted, and their utilization to explain and predict macroscopic phenomena. As a relevant conclusion, we can mention that the use of multimedia resources benefits the formation of mental models consistent with the conceptual models, but this depends largely on the characteristics of the task requested.

Keywords: mental models; chemical transformations; virtual environment; preparatory course; chemistry.

Fecha de recepción: Agosto 2014 • Aceptado: Octubre 2014

DE BORBÓN, L. P.; OZOLLO, M. F. (2014). Modelos mentales de transformaciones químicas. Su construcción en un curso de ingreso que utiliza un EVEA. *Virtualidad, Educación y Ciencia*, 9 (5), pp. 9-32.

Introducción

El estudio de las transformaciones químicas de compuestos inorgánicos constituye un tema central en los cursos de Química de nivel secundario. Este contenido es abordado en el Curso de Química que realizan los aspirantes a ingresar a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo (UNCUYO). Esta Facultad ofrece un curso de nivelación con dos modalidades, una presencial, que se desarrolla en un período más corto, y otra, semipresencial, más extensa, y en la que se utiliza el campus virtual de la UNCUYO. El modelo pedagógico del curso semipresencial se centra en la interactividad socio-cognitiva que establecen los estudiantes con el contenido, los materiales, los docentes y entre sí. Durante el desarrollo del mismo los alumnos cuentan con el apoyo de un tutor docente. Éste acompaña a los estudiantes brindándoles la ayuda oportuna y ajustada a sus necesidades. Una de las tareas más relevantes que cumple el tutor es la corrección de las actividades que los alumnos envían, devolviendo las mismas con el comentario correspondiente.

La comprensión de un fenómeno químico implica el establecimiento de la relación entre el mundo macroscópico (que puede apreciarse a través de los sentidos) y el nanoscópico (molecular o submicroscópico). La utilización de entornos virtuales de enseñanza y aprendizaje (EVEA) permite la combinación de diferentes lenguajes en el tratamiento de los contenidos que se abordan en una secuencia didáctica determinada. La comprensión de fenómenos a nivel submicroscópico, propia de la Química, podría facilitarse entonces con el uso de estas herramientas, gracias a las cuales es posible visualizar representaciones de partículas que interactúan.

Por otra parte, tal como plantea Suárez (2006) la utilización de un entorno virtual, en cuanto signo, modifica la forma de pensar y actuar de quien usa la herramienta. Pero, los estudiantes que utilizan un EVEA ¿qué modelos mentales construyen para explicar distintos tipos de reacciones químicas?, ¿son consistentes con los modelos que propone la comunidad científica para explicar el mismo fenómeno químico? El uso de un entorno virtual, ¿incide en la construcción de dichos modelos mentales? ¿en qué grado las actividades propuestas contribuyen a la formación de modelos mentales que se correspondan con los modelos conceptuales? Estas son las preguntas que nos han movilizado para realizar la investigación que se presenta.

Un aprendizaje significativo implica la construcción de modelos mentales consistentes con los modelos conceptuales, los cuales son científicamente aceptados, y la utilización de los mismos para explicar y predecir fenómenos macroscópicos.

En esta investigación se estudió el proceso de construcción de los modelos mentales de distintos tipos de transformaciones químicas de compuestos inorgánicos, realizado por los aspirantes a ingresar a la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCUYO durante los ciclos 2010, 2011 y 2012.

Este trabajo se inserta en el marco de la Tecnología educativa. Se fundamenta en la teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird (1983), para quien los modelos mentales son representaciones analógicas de la realidad cuya única condición es su funcionalidad, es decir, permitir a los sujetos explicar y hacer previsiones sobre el sistema físico que el modelo análogamente representa. El conocimiento de los modelos mentales construidos por los alumnos podría ser útil para identificar el tipo de errores que presenta el razonamiento de los estudiantes que realizan el curso de nivelación

con la modalidad semipresencial.

La investigación propuesta parte de la hipótesis de que el uso de un entorno virtual para la enseñanza de distintos tipos de reacciones químicas favorece la construcción de modelos mentales consistentes con los modelos conceptuales.

De la hipótesis planteada se desprende como objetivo general analizar el proceso de construcción y utilización de modelos mentales de las transformaciones químicas. Se proponen dos objetivos específicos: El primero, caracterizar los modelos mentales de transformaciones químicas utilizados por los alumnos a partir de la interpretación de las tareas y evaluaciones realizadas por los mismos. El segundo, determinar la incidencia del uso del Campus virtual en la construcción de dichas representaciones.

Modelos mentales de conceptos y fenómenos químicos

En los últimos años algunas investigaciones se interesan en los planteos teóricos que desde la Psicología Cognitiva interpretan las representaciones internas mediante las cuales las personas construyen sus conocimientos. En esta línea se encuentra la Teoría de los Modelos Mentales para el razonamiento de Johnson-Laird (1983), quien postula que el razonamiento consiste en la construcción y manipulación de Modelos Mentales de naturaleza analógica.

La teoría de Johnson-Laird es una teoría psicológica sobre la cognición, una teoría explicativa y predictiva sobre la mente, fundada en cuatro conceptos clave (Rodríguez Palmero, 1999:125).

- La mente tiene carácter computacional ya que opera un conjunto de símbolos que le permiten procesar la información.
- Utiliza procedimientos efectivos que son susceptibles de ser realizados en una máquina.
- Elige una representación, un modelo mental dentro de los factibles utilizando la revisión recursiva.
- Construye modelos mentales que son análogos estructurales del mundo, representaciones internas, que permiten actuar en el mundo.

Johnson-Laird plantea que es posible explicar los errores cometidos por las personas al razonar en términos de una insuficiente búsqueda de contraejemplos. La habilidad de buscar contraejemplos, para este autor, no es tan sencilla de conseguir dado que requiere una gran cantidad de memoria en funcionamiento. Además los errores en el razonamiento pueden originarse cuando la gente, al construir un modelo, aporta conocimiento general adicional a la información contenida en las premisas para luego extraer la conclusión (Johnson-Laird, en García Madruga, 1988: 318).

La teoría de los modelos mentales predice que mientras más modelos deban tenerse en cuenta para realizar una inferencia, más difícil resulta la misma, toma más tiempo realizarla y se pueden cometer más errores. El número de modelos que una persona puede manejar es variable, pero en general más de tres modelos provoca inconvenientes en el razonamiento, debido a la memoria de trabajo limitada de los individuos. Los resultados muestran que para resolver problemas que involucran

varios modelos los diagramas pueden mejorar el razonamiento siempre que sean icónicos (Johnson-Laird, 2010: 18245).

Uno de los aspectos relevantes de la teoría de Johnson-Laird que confronta al pensamiento de Piaget es la influencia del contenido en el razonamiento. En el marco de la teoría de los modelos mentales, se observa que el contenido afecta todos los aspectos del razonamiento, la interpretación de premisas, el proceso y la formulación de conclusiones (Johnson-Laird, 2010: 18245).

Un modelo conceptual es una representación externa, creada por investigadores, profesores, ingenieros, etc., que facilita la comprensión o la enseñanza de sistemas o estados de cosas del mundo (Norman, en Gentner y Stevens, 1983:7). Estas representaciones constituyen modelos completos y consensuados con la comunidad científica. El término modelo conceptual definido por Norman difiere del término modelo conceptual definido por Johnson-Laird, para quien los modelos conceptuales corresponden a modelos que las personas tienen en sus cabezas y representan estados de cosas abstractos.

Un profesor enseña modelos conceptuales esperando que los alumnos construyan modelos mentales consistentes con los mismos, que a su vez deben ser consistentes con los sistemas físicos modelados.

Diferentes trabajos ponen de manifiesto las dificultades que presentan los estudiantes para comprender conceptos y fenómenos químicos. La mayoría de los trabajos consultados parte del supuesto que comprender esta disciplina implica establecer la relación entre los niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico propuestos por Johnstone (2000:11).

La interpretación de las transformaciones químicas en términos de reorganización de átomos no resulta fácil a los alumnos, de acuerdo a investigaciones realizadas por Cokelez (2008). En tanto Solsona, Izquierdo y de Jong (2003) sugieren la necesidad de seleccionar adecuadamente el material de estudio y los ejemplos de reacciones químicas que conduzcan a la formación de modelos de reacciones químicas interactivos (en el que se relacionen aspectos macroscópicos y submicroscópicos).

Las imágenes tienen un papel importante en el aprendizaje de las Ciencias. Por ejemplo, es mucho más fácil construir un modelo mental a través de la percepción visual que a través del discurso. El uso de recursos multimediales es valorado en forma diversa, de acuerdo a los resultados de distintas investigaciones. Dado que los procesos químicos a nivel molecular son dinámicos, imposibles de ver, y normalmente muy difíciles de imaginar, se han propuesto las animaciones a nivel molecular como una forma de apoyar a los estudiantes en la comprensión de fenómenos químicos. (Burke, Greenbowe y Windschitl, 1988)

Por otra parte, la comprensión de los estudiantes puede estar influenciada por los elementos, formas, objetos y eventos integrados en una expresión simbólica particular, lo cual les dificulta la transformación de una forma a otra (Kozma, R. y Russell, J., 1997:951).

Es interesante el planteo que realiza Salomon considerando a los medios, no tanto por sus posibilidades expresivas, sino por la función que cumplen como elementos mediacionales de destrezas y operaciones mentales de los sujetos (Salomon, 1974, citado por Cabero, 2001).

Un sistema de símbolos comunica mejor que otro no a causa de un parecido entre el símbolo representado y su referente, sino porque un sistema de símbolos, en comparación con otros, puede representar la información en mejor correspondencia al –o en congruencia con- el modo de representación que un individuo, con una determinada estructura cognitiva y una tarea dada, puede utilizar mejor (Salomon, 1979)

Se hace por lo tanto necesario comprender qué modelos mentales construyen los estudiantes sobre este contenido central de la disciplina Química, para utilizar esa información como guía que oriente la producción de materiales didácticos y la labor tutorial de los docentes del curso de nivelación semipresencial que ofrece la unidad académica.

Metodología

Desde la perspectiva de Johnson-Laird la comprensión requiere de la construcción de un modelo mental, el cual dota a las personas de capacidad predictiva y explicativa. Pero, tal como plantea Moreira (1996:226) los modelos mentales están en las cabezas de las personas, por lo que la única forma de investigarlos es, en forma indirecta, a través de lo que externalizan verbal, simbólica o pictóricamente.

En esta investigación se ha pretendido construir modelos interpretativos de las representaciones que los estudiantes han construido, en función del proceso mental que han llevado a cabo, mediante la utilización del entorno virtual. La comprensión del fenómeno requiere ser realizada en el contexto de referencia, tal como plantean Taylor y Bogdan (1984). Por ello se decidió realizar el estudio en el contexto natural en el que se desarrolla el curso. Se optó por un estudio de casos múltiples, el cual permite estudiar las convergencias y divergencias entre los casos (Tójar Hurtado, 2006).

La necesidad de disponer de la mayor cantidad posible de información llevó a considerar en esta investigación a los alumnos de tres cohortes. El estudio se limitó a aquellos alumnos que realizaron el curso de nivelación con modalidad semipresencial y que rindieron alguna o todas las evaluaciones escritas en las que era evaluado el contenido de transformaciones químicas. Las tareas escritas solicitadas a estos alumnos fueron las mismas y la tutoría estuvo a cargo de la misma docente.

Para cumplir con los objetivos propuestos se compararon y analizaron las producciones escritas realizadas a lo largo del curso por los alumnos de tres cohortes. Estas producciones escritas corresponden a tareas individuales enviadas por los alumnos utilizando el Campus Virtual, y a las evaluaciones escritas realizadas por los mismos cuya aprobación constituye un requisito para ingresar a las distintas carreras que se dictan en la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCUYO. Cabe destacar que, al no ser obligatoria la entrega de tareas, éstas no fueron enviadas para su corrección por la totalidad de los estudiantes.

El curso comprende cinco instancias presenciales, distribuidas desde el mes de octubre hasta el mes de febrero, y además, el trabajo a través del campus virtual de la UNCUYO. La plataforma permite organizar los contenidos en tres niveles jerárquicos: módulos, ejes temáticos y temas. La Figura 1 muestra los ejes temáticos comprendidos en el Módulo de Reacciones Químicas.


FÓRMULAS Y NOMENCLATURA DE COMPUESTOS INORGÁNICOS	<h3>Las Reacciones Químicas</h3> <p>Las reacciones químicas forman parte de nuestra vida diaria.</p> <p>Las sustancias que forman el aire, el agua y las rocas de nuestro planeta, participan en lentas reacciones químicas que son parte de procesos geológicos que lentamente moldean al mundo. Otras, forman parte de procesos industriales y artesanales; por ejemplo, la obtención de materiales que utilizamos en la construcción, los combustibles, las fibras con las que vestimos, los productos cosméticos, de limpieza, fármacos, etc.</p> <p>También las reacciones químicas son parte de los procesos biológicos, por ejemplo, la digestión, respiración, fotosíntesis, fermentación, etc.</p> <p>Todas estas reacciones se pueden describir con ecuaciones químicas.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Los objetivos para este módulo son:</p> <ul style="list-style-type: none"> Diferenciar transformaciones químicas de las transformaciones físicas. Interpretar las transformaciones químicas desde el modelo de interacción de partículas propuesto por la disciplina. Predcir la factibilidad de una reacción entre determinadas sustancias. Determinar los posibles productos de reacción que se obtendrán al mezclar ciertos reactivos.
REACCIONES QUÍMICAS	
... Ecuaciones químicas	
... Clasificación	
... Reacciones de Neutralización	
... Reacciones de desplazamiento o sustitución	
... Reacciones de doble desplazamiento o doble sustitución	
... Reacciones de síntesis	
... Reacciones de descomposición	
... Reacciones de combustión	
... Tarea grupal Módulo Reacciones Químicas	
... Evaluación del módulo 4	

Figura 1: Pantalla del Módulo Reacciones químicas.

En las pantallas del módulo de reacciones químicas prevalece la presentación de contenidos en la que se combina el lenguaje escrito y gráfico con videos y animaciones según muestra el Gráfico 1.

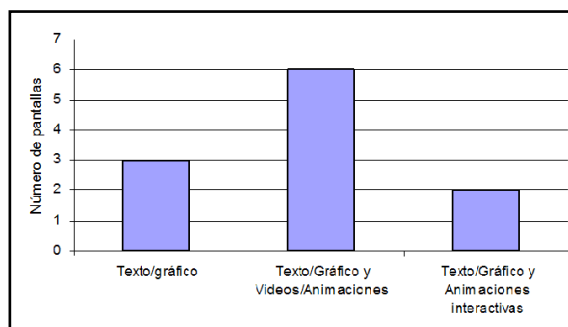


Gráfico 1: Distribución de pantallas según los lenguajes utilizados en el módulo de reacciones químicas.

La presentación de los contenidos se orienta a la vinculación de los mismos con situaciones cotidianas. Entre las actividades propuestas predomina la interrogación y los ejercicios de completamiento e igualación de ecuaciones. En la tarea integradora final del módulo se presentan además situaciones problemáticas en las que se pretende la vinculación de los diferentes niveles de representación: macroscópico, submicroscópico y simbólico, propuestos por Johnstone (1982).

Los datos fueron analizados a partir de dos perspectivas, una cualitativa para determinar el nivel de representación de los alumnos y construir una categorización, y otra cuantitativa para determinar la existencia o no de correlación entre el nivel representacional y las características de los alumnos y actividades desarrolladas por los mismos a lo largo del curso. El nivel representacional de los alumnos se determinó a partir del análisis de sus respuestas a situaciones problemáticas planteadas en la tarea integradora final del módulo. Dichas situaciones involucraban el contenido de las reacciones de doble desplazamiento, con desprendimiento de gases y de precipitación.

La comprensión de los fenómenos químicos implica el manejo de las relaciones entre los tres niveles de representación propuestos por Johnstone (1982). El nivel macroscópico corresponde

a las representaciones mentales adquiridas a partir de la experiencia sensorial directa, el nivel submicroscópico se refiere a la representación en términos de partículas (moléculas, átomos, iones) y el nivel simbólico implica la representación de conceptos químicos mediante fórmulas, ecuaciones, expresiones matemáticas, gráficos, etc.

El análisis de los resultados de las evaluaciones escritas permitió inferir la capacidad predictiva de los modelos construidos por los estudiantes. Estas evaluaciones se centraron fundamentalmente en el manejo de lenguaje simbólico para interpretar fenómenos químicos, representándolos mediante las ecuaciones moleculares correspondientes.

De acuerdo a lo presentado el análisis se centró en la selección y uso de los conceptos que realizaron los estudiantes, con la finalidad de determinar si podían articular las proposiciones en un modelo coherente y utilizar las imágenes en sus explicaciones. Se consideraron los siguientes niveles de análisis:

- La selección de conceptos realizada, lo que proporciona información de la relevancia otorgada a los mismos, ya que lo que se conoce del mundo depende de nuestro aparato conceptual (Johnson-Laird, 1983: 410), lo que justifica el papel del contenido en la construcción y manejo de los modelos mentales. La escala utilizada para evaluar la selección de conceptos fue de tipo ordinal de tres puntos: adecuada, parcialmente adecuada (si algún concepto se utilizó erróneamente o faltó mencionar alguno) o arbitraria (si los conceptos utilizados en la explicación no eran pertinentes).
- El uso de los conceptos, de lo que deriva la capacidad explicativa y predictiva que se ha generado. El uso de la información, la calidad del discurso y el establecimiento de deducciones e inferencias sirvieron como criterios para valorar la formación de un modelo mental.

Capacidad predictiva: La escala utilizada para evaluar la capacidad predictiva fue de tipo ordinal de tres puntos. Establece si plantea la o las ecuaciones correspondientes a las reacciones que se verifican; lo hace en forma parcial si predice las sustancias que intervienen aunque comete algún error en las fórmulas y no establece si no logra plantear las ecuaciones correspondientes.

Capacidad explicativa: La escala utilizada para evaluar la capacidad explicativa fue de tipo ordinal de tres puntos. Establece si la explicación es coherente y utiliza en la misma los conceptos adecuados; lo hace en forma parcial si utiliza sólo algunos de los conceptos y no establece cuando los conceptos utilizados son erróneos o la explicación es un conjunto de frases incoherentes.

- Uso y calidad de las imágenes y dibujos. A partir del análisis de las imágenes o dibujos realizados o interpretados se determina si establece o no vinculación entre el nivel macroscópico y los niveles submicroscópico o simbólico (Escala dicotómica)

Lo que se plantea es un proceso de análisis e interpretación de esas tareas realizadas por los estudiantes con la finalidad de realizar predicciones y explicaciones, en términos de Johnson-Laird, de cómo han operado mentalmente los mismos.

A partir del registro obtenido se clasificó a los alumnos de acuerdo al nivel explicativo y predictivo. Dicha clasificación permitió decidir si los alumnos habían o no construido un modelo mental consistente con el modelo conceptual trabajado en el desarrollo del módulo, si habían construido un modelo más limitado, o bien si no habían logrado construir un modelo mental de este tipo de

transformaciones.

El análisis de la utilización del entorno virtual se realizó a partir de la información recolectada del registro del campus virtual utilizado (www.uncuvirtual.uncu.edu.ar). Se caracterizó a los alumnos de acuerdo al número de accesos por hora a las pantallas del Módulo de Reacciones químicas y la entrega de tareas.

En relación a las evaluaciones escritas, se calculó el grado de apropiación de cada tipo de transformación química en forma porcentual. En los casos en los que los alumnos fueron evaluados en diferentes exámenes se promediaron los porcentajes obtenidos en las distintas evaluaciones. De acuerdo a esto, se clasificó el rendimiento de los alumnos de la siguiente forma: bajo rendimiento (promedio menor a 60%), bueno (60-69%), muy bueno (70-89%) y excelente (mayor o igual a 90%).

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó la planilla de cálculo Excel y el software estadístico InfoStat.

Análisis y discusión de resultados

Resultados obtenidos en las evaluaciones escritas

El 21,4% de los alumnos que realizó el curso de nivelación semipresencial entregó la tarea final integradora del módulo. Sólo un 4% de estos alumnos no alcanzó un puntaje de 60% en el tema de reacciones químicas en las evaluaciones escritas, en tanto que el 57,6% de los alumnos que no presentó la tarea integradora final no alcanzó este porcentaje según muestra el Gráfico 2.

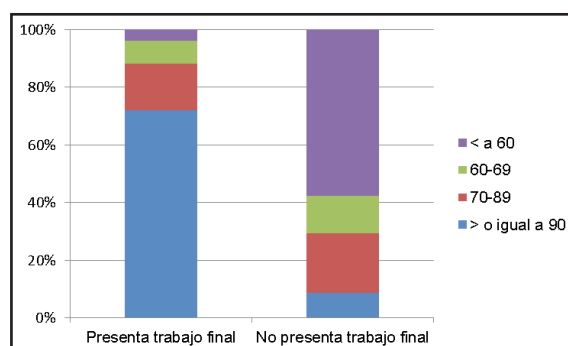


Gráfico 2: Porcentajes obtenidos en las evaluaciones escritas según los alumnos entreguen o no la tarea integradora final.

El grado de participación de los estudiantes en las tareas propuestas y el nivel de accesos al campus virtual influye en los resultados obtenidos en las evaluaciones escritas. La incidencia de estos factores en el rendimiento obtenido en cada tipo de reacción evaluado se muestra en los Gráficos 3 y 4 [ubicada en la siguiente página].

Se observa que los puntajes obtenidos en las evaluaciones escritas de quienes han utilizado el entorno virtual o han enviado las tareas propuestas para su corrección presentan una diferencia importante respecto de quienes no han participado activamente en las tareas propuestas en el entorno virtual.

En cuanto a la utilización del entorno virtual se desprende que la posibilidad de acceder a recursos

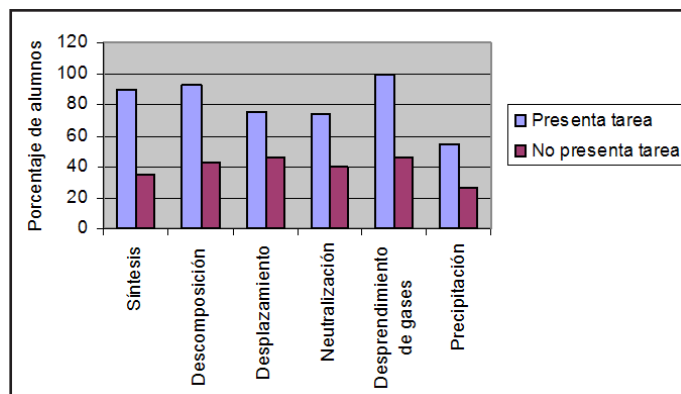


Gráfico 3: Porcentaje de alumnos que obtienen en las evaluaciones correspondientes a cada tipo de reacción puntaje igual o superior al 70% según presenten o no la tarea correspondiente a cada tipo de reacción.

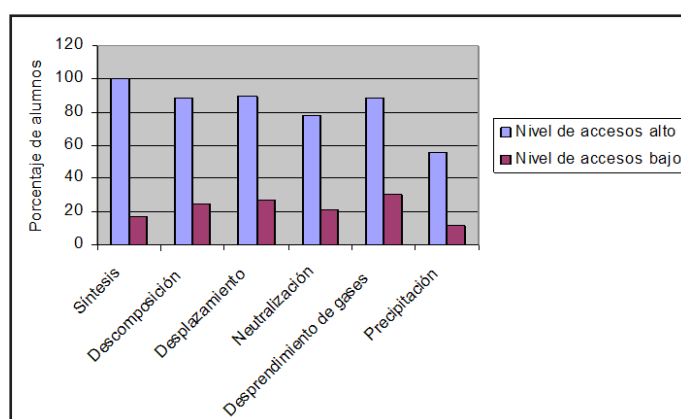


Gráfico 4: Porcentaje de alumnos que obtienen en las evaluaciones correspondientes a cada tipo de reacción puntaje igual o superior al 70% según el nivel de acceso al campus virtual.

multimediales incide favorablemente en la comprensión de las transformaciones químicas. Por otra parte, la realización de las tareas estaría influyendo positivamente si se observan los resultados obtenidos. Se podría justificar, por una parte, por las características de las tareas planteadas, que exigen el proceso de codificación y descodificación de la información planteada, y, además, por la posibilidad que tienen, quienes envían las tareas a su tutor, de recibir una devolución personal en la que se reorienta su aprendizaje.

El porcentaje de alumnos que supera el 70 % difiere para cada tipo de reacción, obteniéndose los mejores resultados en la evaluación de reacciones de doble desplazamiento con desprendimiento de gases y los peores en las reacciones de precipitación.

Representaciones mentales de las reacciones de doble desplazamiento construidas por los estudiantes

a. Representaciones mentales de las reacciones de doble desplazamiento con desprendimiento de gases

La pantalla que trata este contenido permite la descarga de un documento, en formato PDF, en el que se presentan las características de las reacciones de este tipo, interpretándolas tanto a nivel macroscópico como submicroscópico, y mediante la utilización de diferentes lenguajes.

También la misma pantalla permite acceder a una animación de una reacción de este tipo que se encuentra en la dirección web: http://www.deciencias.net/proyectos/Tiger/paginas/DoubleDisp_Reaction-GasProduction.html

En este caso particular, la animación interpreta la reacción del carbonato ácido de sodio con ácido clorhídrico. La Figura 2 presenta una secuencia de lo que puede observarse al inicio de la presentación, en un instante posterior y al finalizar la misma.

La animación comienza con la presentación de las sustancias reaccionantes disueltas en agua y dispuestas en vasos de precipitación diferentes. Se pueden apreciar aspectos macroscópicos al observar la imagen de los mismos. Las sustancias presentes en los vasos y el hecho de que el sistema considerado se trate de soluciones acuosas de dichas sustancias están representados al escribir las fórmulas de las mismas y la abreviatura (aq). La animación comienza además interpretando las partículas presentes en el sistema. Para ello debe considerarse que las sustancias que están disueltas son electrolitos fuertes, y por lo tanto se encuentran disociadas en solución acuosa. Las partículas, en este caso los iones, se encuentran representados utilizando una combinación de las fórmulas químicas correspondientes, y mediante el modelo de bolas. Cada átomo que compone los iones es representado con un color diferente. En esta representación no se consigna al agua, que es el disolvente presente en ambas soluciones, con la finalidad de simplificarla, y hacer más comprensible el fenómeno atendiendo a aquellos aspectos que se consideran relevantes.

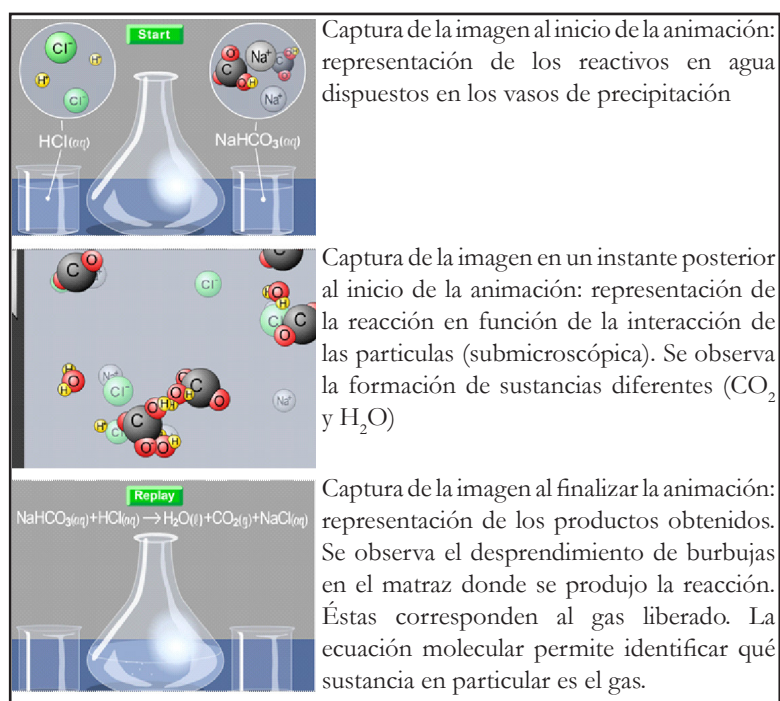



Figura 2: Imágenes capturadas de la animación de una reacción de doble desplazamiento con desprendimiento de gases en tres instantes de la secuencia.

En la misma pantalla se presenta una actividad que los alumnos deben descargar, y una vez realizada, subir al campus para su corrección. Dicha actividad comprende un análisis de la animación presentada y tareas de selección de sustancias que intervienen en una reacción química para completar las ecuaciones químicas correspondientes.

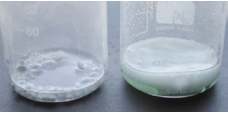
Al finalizar el módulo se presenta una tarea integradora final, en la que se proponen actividades referidas a los distintos tipos de reacciones químicas sobre las que se ha trabajado. Las actividades comprenden, además de reacciones que los alumnos deben representar mediante la ecuación correspondiente, la resolución de una situación problemática que involucra las reacciones de doble desplazamiento con desprendimiento de gases que se muestra a continuación (Cuadro 1):

Cuadro 1: Situación problemática sobre reacciones de doble desplazamiento con desprendimiento de gases planteada en la Tarea integradora final.

1 - Se han perdido los rótulos de dos bolsas que se sabe contienen caliza (cuyo componente principal es carbonato de calcio) y yeso (sulfato de calcio hidratado) respectivamente.



Se coloca una muestra de cada sólido en un vaso de precipitación y se les agrega ácido clorhídrico. La siguiente foto muestra los vasos luego del agregado de ácido clorhídrico.



a - ¿Qué diferencia se observa entre los dos vasos?

b - ¿Cómo podemos distinguir el contenido de cada vaso de acuerdo a lo observado? Podrías comenzar pensando lo que ocurriría si al sulfato de calcio se le agrega ácido clorhídrico, ¿habrá reacción?, y si fuera carbonato de calcio, ¿qué ocurriría? ¿Puedes relacionar tu hipótesis con lo observado? sea la hipótesis _____ Explicalo con tus palabras y representa lo que está ocurriendo mediante la ecuación correspondiente.

c - De acuerdo a lo observado y representado identifica el contenido de los vasos de la izquierda y de la derecha.

d - ¿Qué tipo de reacción es la producida? Explica con tus palabras como has llegado a esa conclusión.

A partir de los datos consignados se establecieron tres categorías de alumnos: alumnos que han construido un modelo mental consistente con el modelo conceptual trabajado en el desarrollo del curso (modelo mental "A"), alumnos que construyeron un modelo que, si bien les permite resolver situaciones problemáticas que involucran reacciones de este tipo muestran inconsistencias con el modelo conceptual trabajado (modelo mental "B") y alumnos que no han construido ningún modelo mental de este tipo de reacciones.

Los alumnos que presentan los modelos mentales "A" y "B" responden correctamente el ítem "a". Éstos reconocen aspectos macroscópicos a partir de la observación de representaciones gráficas. Los alumnos que no han construido un modelo mental de este tipo de reacciones presentan respuestas diversas. Algunas de ellas no pueden surgir de la observación de las imágenes, o revelan errores conceptuales (Tabla 1).

Tabla 1: Respuestas de alumnos al ítem “a” según su representación mental de las reacciones con desprendimiento de gases.

Respuestas de alumnos	Representación mental
<p>Respuesta de Melisa: En uno de los vasos se observa estabilidad y en otro una reacción evidenciada por efervescencia.</p> <p>Respuesta de Constanza: El contenido del primer vaso es insoluble, y el otro se ha disuelto y ha desprendido un gas (se han formado burbujas).</p>	Modelo mental “A”
<p>Respuesta de Facundo: En el vaso de la derecha lo que sucede es que desprende calor, hay un cambio de color y un burbujeo. En el de la izquierda, no sucede nada.</p> <p>Respuesta de Julieta: En el primer vaso (izquierda) se observa que no se produce ninguna reacción tras el agregado de ácido clorhídrico, mientras que en el segundo vaso (derecha), sí. Se produce un desprendimiento de gases.</p>	Modelo mental “B”
<p>Respuesta de Lucas: Que el frasco de la derecha ha formado agua y un burbujeo y en el de la izquierda se formación de líquido</p> <p>Respuesta de Leandro: La diferencia radica en la violencia de la reacción.</p> <p>Respuesta de Milagro: En el primer vaso se presenta un precipitado en el fondo, mientras que en el segundo se observa solamente una solución acuosa con la presencia de espuma.</p>	No se han formado un modelo mental al respecto

La resolución del ítem “b” implica la explicación de la diferencia de comportamiento de las sustancias que contienen los vasos frente al ácido clorhídrico. Los alumnos deberían justificar la diferencia en el comportamiento observado a partir del concepto de fijeza y volatilidad, teniendo en cuenta las sustancias que se mezclan y el ácido que se formaría al producirse la reacción de doble desplazamiento. La Tabla 2 (ver página siguiente) resume algunas de las respuestas dadas por los alumnos de las distintas categorías establecidas.

Las respuestas de los alumnos que han formado el modelo mental “A” permiten interpretar que los mismos logran justificar la diferencia del comportamiento observado utilizando los conceptos pertinentes al modelo conceptual trabajado en el desarrollo del tema.

Los alumnos que han formado el modelo mental “B” justifican la diferencia del comportamiento observado. Algunos utilizan los conceptos pertinentes al modelo conceptual trabajado en el desarrollo del tema aunque en la explicación se observa la confusión de algunos conceptos. Otros realizan una justificación que no es correcta, basándose en supuestos falsos.

Los alumnos que no han formado un modelo mental para este tipo de reacción no logran explicar la situación planteada.

En el ítem “d” se solicita la clasificación de la reacción planteada. La tabla 3 (ver página 21) resume algunas de las respuestas a ese ítem dadas por los alumnos de las distintas categorías establecidas.

Del análisis de las respuestas se desprende que los alumnos no tienen dificultad en interpretar una reacción, en este caso particular de una sal y un ácido, en términos de intercambio de iones. Esto explicaría que la mayoría de los alumnos responda correctamente los ítems correspondientes a este tipo de reacción en las evaluaciones escritas, en las que se solicitaba (continúa en página 21)

Tabla 2: Respuestas de alumnos al ítem “b” según su representación mental de las reacciones con desprendimiento de gases.

Respuestas de alumnos	Representación mental
<p>Respuesta de Melisa: Se puede distinguir que contiene cada vaso observando lo ocurrido, ya que al mezclar ácido clorhídrico con carbonato de calcio hay reacción, ya que el ácido clorhídrico es un ácido volátil y el carbonato es muy volátil. Por lo tanto el cloro desplaza al carbonato del calcio. El resultado es Cloruro de Calcio, Dióxido de Carbono y agua (se forman estos dos últimos componentes porque el ácido carbónico es inestable).</p> $2\text{HCl} + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ <p>Al mezclarse el sulfato de calcio con el ácido clorhídrico no hay reacción, ya que el ácido clorhídrico es volátil y el sulfúrico es fijo, por lo tanto el ácido clorhídrico no lo desaloja de su sal. $\text{HCl} + \text{CaSO}_4$ NO HAY REACCIÓN</p> <p>Respuesta de Luciano: Si al sulfato de calcio se le agrega ácido clorhídrico, no hay reacción ya que un ácido fijo (ácido sulfúrico) no puede ser desplazado por un ácido volátil (ácido clorhídrico). Mientras que si al carbonato de calcio se le agrega ácido clorhídrico, se produce una reacción de doble desplazamiento, representada a continuación:</p> $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	Modelo mental “A”
<p>Respuesta de Facundo:</p> $\text{CaCO}_3 (\text{s}) + 2\text{HCl} (\text{ac}) = \text{H}_2\text{CO}_3 (\text{ac}) + \text{CaCl}_2 (\text{ac})$ <p>En este caso, un ácido fijo (HCl) desaloja al ácido volátil de su sal, en este caso el ácido carbónico es inestable por lo que la fórmula en realidad es:</p> $\text{CaCO}_3 (\text{s}) + 2\text{HCl} (\text{ac}) = \text{CO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) + \text{CaCl}_2 (\text{ac})$ <p>$\text{SO}_4\text{Ca} + \text{HCl}$ en este caso el Sulfato no reacciona, porque es inestable.</p> <p>Respuesta de Julieta: El contenido de cada vaso lo podemos distinguir de acuerdo a la reacción (o no) que se desenlazó tras el agregado de ácido clorhídrico sobre el compuesto que estaba dentro.</p> <p>Si al sulfato de calcio se le agrega ácido clorhídrico, pensaría que se formará ácido sulfúrico, el cual es un ácido fijo, y por lo tanto, más fuerte que el primero. Por lo tanto no se llevaría a cabo la reacción, ya que el HCl (un ácido volátil) no puede desalojar a uno fijo de su sal. En el primer caso (carbonato de calcio en reacción con ácido clorhídrico)</p> $\text{CaCO}_3 (\text{aq}) + 2 \text{HCl} (\text{aq}) \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 (\text{aq}) + \text{CaCl}_2 (\text{aq}) \rightarrow \text{hay reacción!}$ <p>(ya que el ácido carbónico es un ácido más volátil que ácido clorhídrico)</p> <p>En el segundo caso (sulfato de calcio en reacción con ácido clorhídrico)</p> $\text{CaSO}_4 (\text{aq}) + 2 \text{HCl} (\text{aq}) \rightarrow \text{CaCl}_2 (\text{aq}) + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq})$ <p>Por lo tanto en $\text{CaSO}_4 (\text{aq}) + 2 \text{HCl} (\text{aq}) \rightarrow$ no hay reacción!</p> <p>Respuesta de Paula:</p> <p>El sulfato de calcio es un sólido insoluble, por lo que sus componentes no disocian y como no se pueden separar en sulfato y calcio no se produce la reacción.</p> <p>No ocurre lo mismo con el carbonato de calcio, que al ser solubles pueden disociar sus elementos y reagruparse para así liberar el ácido volátil. La reacción sería la siguiente:</p> $\text{CaCO}_3 + 2 \text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3 \quad \text{Ec. molecular}$ $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2^+ + \text{Cl}_2^- = \text{Ca}^{2+} + \text{Cl}_2^- + \text{H}_2\text{CO}_3 \quad \text{Ec. iónica}$ $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2^+ = \text{H}_2\text{CO}_3 \quad \text{Ec. iónica neta}$	Modelo mental “B”
<p>Respuesta de Leandro:</p> <p>(A) $\text{CaSO}_4 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$</p> <p>(B) $\text{CaCO}_3 + \text{HCl} = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CaCl}_2$</p> <p>Mediante las ecuaciones representadas se puede observar que el gas liberado es distinto en cada una de ellas, si bien coinciden con la formación de Cloruro de Calcio y Agua, la liberación del gas permite distinguir el contenido del recipiente.</p> <p>Respuesta de Milagro:</p> <p>- $\text{CaCO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}^+ + \text{Cl}^-$</p> <p>- $\text{CaSO}_4 + \text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$</p>	No se han formado un modelo mental al respecto

Tabla 3: Respuestas de alumnos al ítem “d” según su representación mental de las reacciones con desprendimiento de gases.

Respuestas de alumnos	Representación mental
<p>Respuesta de Melisa: Se ha producido una reacción de doble desplazamiento o sustitución con desprendimiento de gases. He llegado a esta conclusión ya que las dos sustancias que se combinan lo que hacen es intercambiar sus cationes debido a su volatilidad y en los productos se observa que se ha producido un gas. A demás se puede llegar a esta conclusión porque al observar los reactivos se ve que es la única clase de reacción que pueden sufrir, ya que entre ellos no se pueden producir reacciones de oxido-reducción.</p> <p>Respuesta de Belén: Es una reacción de doble desplazamiento con desprendimiento de gases porque los elementos se han remplazado mutuamente, llevando a la formación de un compuesto gaseoso. La sustitución o desplazamiento tuvo lugar ya que un ácido poco volátil sustituyo al anión ácido volátil de la sal.</p>	Modelo mental “A”
<p>Respuesta de Facundo: Es una reacción de doble desplazamiento con liberación de gases.</p> <p>Respuesta de Sofía: Es una reacción de desplazamiento doble con liberación de gases, de un ácido con una sal. (Reaccionan $AB+CD = AC+BD$) El ácido fijo desaloja al volátil de su sal, y luego de la reacción se libera CO_2 que es un gas.</p>	Modelo mental “B”
<p>Respuesta de Leandro: En ambos casos se ha producido una reacción de un ácido con una sal; he llegado a esta conclusión a partir de la observación de las sustancias presentes.</p> <p>Respuesta de Milagro: Reacción de doble desplazamiento y precipitación</p>	No se han formado un modelo mental al respecto

el planteo de ecuaciones moleculares. Sin embargo, como se puede inferir a partir de la observación de las respuestas de los alumnos, quienes no han construido un modelo mental aplican el mecanismo que les permite escribir una ecuación molecular tanto a reacciones que se producen efectivamente como a reacciones que no se verifican.

El reconocimiento de las características de la transformación química presentada a nivel macroscópico a partir de la observación de las imágenes y la representación de la reacción mediante la ecuación química molecular correspondiente no generó mayores dificultades a este grupo de alumnos. La mayoría de los mismos resolvió en forma correcta la situación planteada en la tarea integradora del módulo, aunque a la hora de explicar cómo llegaron a esa conclusión se observaron diferencias en la construcción mental que habían generado.

El análisis de las tareas sugiere que los alumnos que formaron un modelo mental consistente con el modelo conceptual presentado en el curso (modelo mental interactivo relacional) han vinculado la representación macroscópica de la reacción con su interpretación mediante el lenguaje simbólico y explican el fenómeno utilizando los conceptos pertinentes.

El análisis de las tareas realizadas por aquellos alumnos que han formado un “modelo mental interactivo sustituto” revela que entre los errores detectados se encuentra la confusión del concepto de fijeza con los de fuerza o estabilidad. Algunos alumnos de este grupo utilizan estos conceptos como sinónimos. La fuerza del ácido no está determinando el tipo de reacción que se produce. Debe considerarse que en este curso no se hace hincapié en la distinción en cuanto a su fuerza de distintos tipos de ácidos. Esta confusión conceptual no genera inconvenientes a la hora predecir si

se producirá o no una reacción de este tipo entre determinadas sustancias ya que para estos alumnos fuerza y fijeza corresponden a conceptos equivalentes. Este grupo de alumnos podría en un futuro observar inconsistencias con el modelo mental generado al momento de trabajar con la Tabla de Brönsted-Lowry que ordena los ácidos de acuerdo a su fuerza.

Al mencionar los productos volátiles que pueden llegar a formarse en una transformación química de este tipo, se hace referencia a la inestabilidad de algunos de ellos, lo que conduce a la formación de otras sustancias diferentes que se liberan en forma gaseosa. En cuanto a los conceptos de estabilidad-inestabilidad, no se realiza una revisión de estos conceptos en el desarrollo de este tema, de modo que la observación del material con el cual los alumnos han trabajado da cuenta de la posible confusión y de la necesidad de presentar dicha revisión.

Dentro de este grupo, los alumnos que han formado el “modelo mental interactivo sustituto”, se puede distinguir a otros que interpretan la situación utilizando conceptos que no son pertinentes. En su explicación, dan a entender que se produce una reacción de este tipo sólo si las sustancias reactantes son solubles en agua. Se observa la aplicación del “Principio de economía” propuesto por Johnson-Laird, ya que el modelo que utilizaron estos alumnos para explicar las reacciones de precipitación es revisado recursivamente y utilizado para explicar este otro tipo de reacción. Por ello, estos alumnos suponen la condición de solubilidad de las sustancias reactantes para que la reacción se produzca. No detectaron el error en su razonamiento pese a que la sustancia reactante del ejemplo planteado (carbonato de calcio) es muy poco soluble en agua. Un 60 % de estos alumnos presenta un nivel de accesos al campus virtual alto o muy alto y ha entregado la tarea correspondiente a esta pantalla para su corrección. Estos alumnos han construido un modelo mental que se comporta como un modelo alternativo. Su carácter funcional hace que no lo cuestionen ya que les sirve para resolver la situación planteada.

Al observar la forma de presentación de este contenido se aprecia que tanto la animación utilizada en el entorno virtual como el ejemplo planteado al desarrollar el tema en el documento de descarga corresponden a la reacción de una sal soluble en agua con un ácido. La representación en términos de partículas requiere que se considere que dichas sustancias son electrolitos fuertes, y por lo tanto disocian.

El error en el razonamiento puede proceder, tal como plantea Johnson-Laird, de una insuficiente búsqueda de contraejemplos y por no haber puesto a prueba los modelos creados, como sugiere Greca y Moreira (1998). Las actividades propuestas en el curso, por tanto, deberían favorecer la búsqueda de los mismos para evitar este tipo de errores.

Los alumnos que no han construido un modelo mental de este tipo de reacciones son capaces, sin embargo, de igualar las ecuaciones químicas que representan la reacción. La interpretación, en términos de intercambio de iones, no parece generar dificultad a los alumnos, quienes realizan este doble desplazamiento en forma mecánica, aunque no logran interpretar las causas del mismo. Esto hace que no puedan distinguir las sustancias que reaccionan entre sí de las que no lo hacen y apliquen el mismo procedimiento para igualar ecuaciones tanto de reacciones factibles como de las que no lo son. No es factible aplicar el tratamiento computacional a los datos obtenidos. Aplicando el principio

de indeterminación se desprende que estos alumnos no han construido un modelo mental para este tipo de reacción.

b. Representaciones mentales de las reacciones de doble desplazamiento con formación de precipitado

La pantalla que trata este contenido permite la descarga de un documento, en formato PDF, en el que se presentan las características de las reacciones de este tipo, interpretándolas tanto a nivel macroscópico como submicroscópico, y mediante la utilización de diferentes lenguajes. Se fundamenta una reacción de este tipo, en ese documento, en función de la escasa solubilidad de los productos que se forman.

Se pueden descargar desde esa pantalla una Tabla de solubilidad, que presenta reglas generales que permiten recordar si las sustancias inorgánicas de uso común son o no solubles en agua.

También la misma pantalla permite acceder a una animación de una reacción de este tipo que se encuentra en la dirección web: http://www.deciencias.net/proyectos/Tiger/paginas/DoubleDisp_Reaction-Precipitation.html.

La Figura 3 presenta una secuencia de lo que puede observarse al inicio de la presentación de la animación, en un instante posterior y al finalizar la misma.

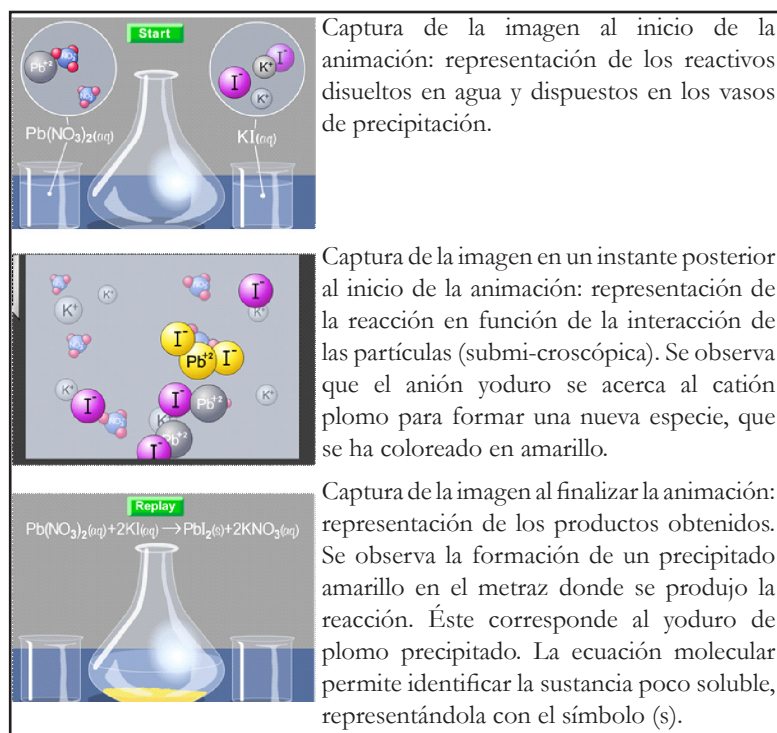


Figura 3: Imágenes capturadas de la animación de una reacción de doble desplazamiento con formación de un precipitado en tres instantes de la secuencia.

La tarea correspondiente a las reacciones de precipitación se presenta en el Cuadro 2. A partir de su análisis se realizó la caracterización de las representaciones mentales construidas por los alumnos.

Cuadro 2: Situación problemática sobre reacciones de doble desplazamiento con formación de precipitado planteada en la Tarea integradora final.

La foto de la derecha muestra la reacción en solución acuosa entre el cloruro de sodio (que se encontraba disuelto en agua en el vaso de precipitación) y el nitrato de plata (solución del frasco color caramelo). Observa la foto y luego realiza las actividades propuestas:

a - De acuerdo a lo observado, ¿qué tipo de reacción se ha producido?

b - Representa mediante círculos los iones presentes en las soluciones antes de la reacción (en la representación puede obviarse el agua para que la misma resulte más sencilla). Para ello deberás considerar las características de los reactivos (podría ser útil representarlos previamente mediante las fórmulas químicas correspondientes). A continuación representa las partículas luego de la reacción.

c - ¿Qué has tenido en cuenta para realizar la representación?

d - ¿Cuáles son los iones espectadores de la reacción?

e - Escribe las ecuaciones iónica y molecular para la reacción descrita.



El análisis de las respuestas al ítem “a” permite inferir que los alumnos que han construido algún modelo mental de este tipo de reacciones reconocen la formación de un precipitado a partir de la observación de la imagen presentada. Los alumnos que no han construido un modelo mental presentan respuestas diversas. Algunos reconocen la formación de un precipitado y otros mencionan que se trata de una reacción de doble desplazamiento, lo cual no se infiere en forma directa de la observación de la imagen.

La tarea solicitada en el ítem “b” implica interpretar la reacción en función de las partículas que intervienen en la reacción, es decir a nivel submicroscópico. Tratándose de soluciones acuosas de solutos electrolitos y dada la indicación de obviar el agua (el disolvente) en la representación, deberían representarse iones, separados, en caso de provenir de electrolitos fuertes y las partículas juntas, en caso de formar parte de sustancias muy poco solubles.

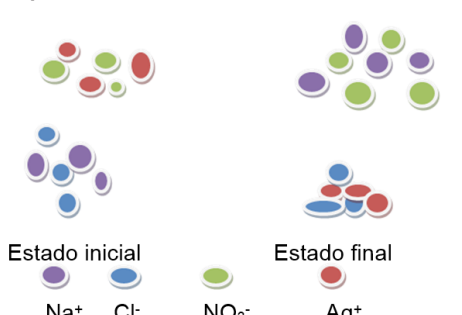
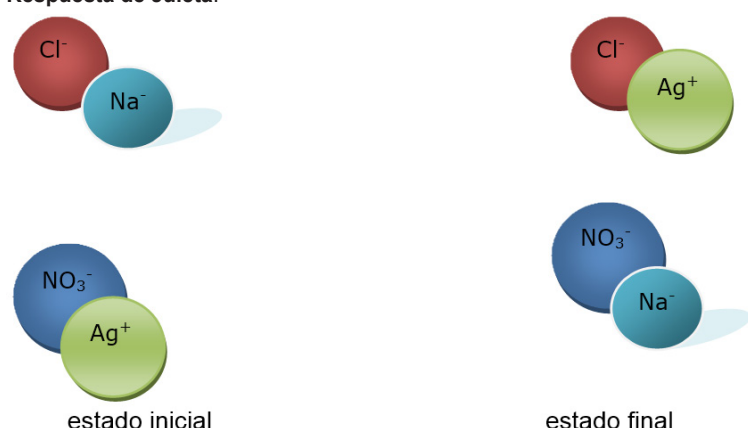
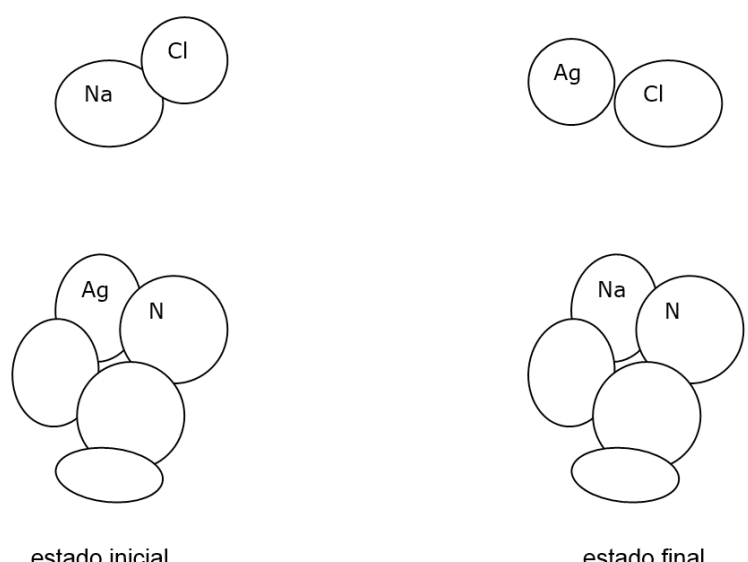
La Tabla 4 (ver página siguiente) resume algunas de las respuestas dadas por los alumnos de las distintas categorías establecidas.

Como puede observarse, los alumnos que han construido un modelo mental consistente con el modelo conceptual desarrollado en el curso (modelo mental “A”) representan los iones y tienen en cuenta en la representación realizada la solubilidad de las sustancias que participan en la reacción, lo que permitiría deducir las especies químicas que se comportan como iones espectadores en esta reacción.

Los alumnos que presentan el modelo mental más limitado interpretan la reacción en términos de intercambio de iones entre las sustancias que participan de la reacción. Sus interpretaciones se fundamentan en el doble desplazamiento, pero en las mismas no se observa la diferencia entre las sustancias reaccionantes y los productos de reacción en relación a la propiedad que justifica la reacción producida, su solubilidad en el agua.

Los alumnos que no han construido un modelo mental de este tipo de reacciones en general no representan iones o bien no realizan ninguna representación a nivel submicroscópico de la reacción presentada.

Tabla 4: Respuestas de alumnos al ítem “b” según su representación mental de las reacciones de precipitación.

Respuestas de alumnos	Representación mental
<p>Respuesta de Melisa:</p>  <p>En solución acuosa</p> <p>Precipitado</p> <p>Estado inicial Estado final</p> <p>Na⁺ Cl⁻ NO₃⁻ Ag⁺</p>	<p>Modelo mental “A”</p>
<p>Respuesta de Juieta:</p>  <p>estado inicial estado final</p>	<p>Modelo mental “B”</p>
<p>Respuesta de Milagro:</p>  <p>estado inicial estado final</p>	<p>No se han formado un modelo mental al respecto</p>

La respuesta a la pregunta del ítem “c” debería contemplar distintos aspectos que fundamentan la representación. Por una parte, el carácter de electrolito de las sustancias reaccionantes, lo cual justifica la representación de iones (partículas cargadas), y la solubilidad en el agua de las sustancias que intervienen en la reacción, lo que explica que en la representación del producto soluble los iones se dispongan separados entre sí, y en la representación del producto muy poco soluble los iones se representen cercanos entre sí. La Tabla 5 muestra la respuesta a la pregunta de este ítem de los alumnos de diferentes grupos caracterizados.

Tabla 5: Respuestas de alumnos al ítem “c” según su representación mental de las reacciones de precipitación.

Respuestas de alumnos	Representación mental
Respuesta de Melisa: Como se encuentran los iones en sus respectivas mezclas acuosas en un principio y como queda el compuesto precipitado luego de la reacción mientras que el otro producto queda en solución acuosa.	Modelo mental “A”
Respuesta de Juieta: He tenido en cuenta los iones y las combinaciones luego de la reacción. Respuesta de Leandro: Tuve en cuenta los reactivos y los productos obtenidos en la reacción.	Modelo mental “B”
Respuesta de Milagro: La cantidad de moléculas presentes de cada elemento en la sustancia final Respuesta de Lucas: Los reactivos y el producto	No se han formado un modelo mental al respecto

Como puede observarse los alumnos que han construido el modelo mental “A” justifican la representación en función de la solubilidad de las sustancias que participan de la reacción; los alumnos categorizados en el modelo mental “B”, en general, justifican la representación en término de los iones que se combinan entre sí y las características de reactivos y productos. Por último, los alumnos que no han logrado construir un modelo mental de este tipo de reacción justifican su representación, en caso de haberla realizado, con fundamentos diversos, algunos de ellos carentes de coherencia.

La respuesta a la pregunta del ítem “d” podría surgir a partir de la representación a nivel submicroscópico que los alumnos hayan realizado. Aquellos iones que no intervienen en la reacción, quedan en solución acuosa separados entre sí. La Tabla 6 (en la siguiente página) resume algunas de las respuestas de los alumnos a esta pregunta.

En el ítem “e” se solicita a los alumnos la escritura de las ecuaciones iónica y molecular para la reacción descrita. La Tabla 7 (ver página que sigue) resume algunas de las respuestas de los alumnos.

Sólo un 36% de los alumnos que realizaron la tarea integradora final construyó un modelo mental consistente con el modelo conceptual de las reacciones de doble desplazamiento con formación de precipitado (modelo mental interactivo relacional). Se coincide con Johnson-Laird en que esta dificultad podría atribuirse a la exigencia de utilizar distintos modelos para (continúa en la página 29)

Tabla 6: Respuestas de alumnos al ítem “d” según su representación mental de las reacciones de precipitación.

Respuestas de alumnos	Representación mental
<p>Respuesta de Constanza: Los iones espectadores son NO_3^- y Na^+</p> <p>Respuesta de Melisa: Los iones espectadores de la reacción son el sodio y el nitrato.</p>	Modelo mental “A”
<p>Respuesta de Juieta: Anión nitrato y catión sodio.</p> <p>Respuesta de Federico: El catión Sodio y el Anión Nitrato.</p>	Modelo mental “B”
<p>Respuesta de Sofía: Los iones espectadores son el oxígeno y el nitrógeno.</p> <p>Respuesta de Milagro: Los iones de agua.</p>	No se han formado un modelo mental al respecto

Tabla 7: Respuestas de alumnos al ítem “e” según su representación mental de las reacciones de precipitación.

Respuestas de alumnos	Representación mental
<p>Respuesta de Paula: $\text{NaCl} + \text{AgNO}_3 = \text{NaNO}_3 + \text{AgCl}$ $\text{Na}^+ + \text{Cl}^- + \text{Ag}^+ + \text{NO}_3^- = \text{Na}^+ + \text{NO}_3^- + \text{AgCl} (\text{s})$</p> <p>Respuesta de Fernando: $\text{Cl}^- (\text{aq}) + \text{Na}^+ (\text{aq}) + \text{NO}_3^- (\text{aq}) + \text{Ag}^+ (\text{aq}) \rightarrow \text{Cl}^- (\text{aq}) + \text{Na}^+ (\text{aq}) + \text{NO}_3^- (\text{aq}) + \text{AgCl} (\text{s})$</p>	Modelo mental “A”
<p>Respuesta de Federico: $\text{NaCl} + \text{AgNO}_3 = \text{NaNO}_3 + \text{AgCl}$ $\text{Na}^+ + \text{Cl}^- + \text{Ag}^+ + \text{NO}_3^- = \text{AgCl} + \text{Na}^+ + \text{NO}_3^-$</p> <p>Respuesta de Leandro: $\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})} + \text{Ag}^+_{(\text{aq})} + \text{NO}_3^-_{(\text{aq})} = \text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{NO}_3^-_{(\text{aq})} + \text{AgCl}_{(\text{s})}$ $\text{NaCl}_{(\text{aq})} + \text{AgNO}_{3(\text{aq})} = \text{NaNO}_{3(\text{aq})} + \text{AgCl}_{(\text{s})}$</p>	Modelo mental “B”
<p>Respuesta de Milagro: $\text{AgNO}_3 + \text{NaCl} \rightarrow \text{NaNO}_3 + \text{AgCl}$ $\text{Ag}^+ + \text{NO}_3^- + \text{Na}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{Na}^+ + \text{AgCl}$</p> <p>Respuesta de Facundo: $\text{NaCl}_{(\text{ac})} + \text{AgNO}_{3(\text{ac})} = \text{NaNO}_{3(\text{ac})} + \text{Ag}^+_{(\text{s})} + \text{Cl}^-_{(\text{ac})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$ $\text{Na}^+_{(\text{s})} + \text{Cl}^-_{(\text{ac})} + \text{Ag}^+_{(\text{s})} + \text{NO}_3^-_{(\text{ac})} = \text{Cl}^-_{(\text{ac})} + \text{Ag}^+_{(\text{s})} + \text{NaNO}_{3(\text{ac})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$</p>	No se han formado un modelo mental al respecto

interpretar las tareas propuestas y, tal como plantea Johnstone en la capacidad limitada de la memoria de trabajo que poseen los estudiantes.

Estos alumnos lograron relacionar el nivel macroscópico y el submicroscópico, representar la situación en el lenguaje simbólico disciplinar y gráfico y fundamentar la explicación utilizando los conceptos adecuados. Para resolver la situación era necesario tener un modelo de:

- El proceso de disolución, teniendo en cuenta la solubilidad de un compuesto inorgánico en agua.
- El proceso de disociación, teniendo en cuenta el carácter de electrolito de las sustancias disueltas en agua.
- La reacción de los iones en la solución para formar un compuesto muy poco soluble.
- Iones que no participan de la reacción (iones espectadores).

Un 20 % de los alumnos construyó un modelo mental más limitado (modelo mental interactivo simbólico). Este modelo le permite resolver la situación planteada. Es más limitado en cuanto a la cantidad de conceptos utilizados en la explicación realizada. Los alumnos no mencionan el concepto de solubilidad, aunque al escribir las ecuaciones químicas representan las especies muy poco solubles con la simbología correspondiente, colocando el símbolo (s) a la derecha de la sustancia muy poco soluble. Estos alumnos tienen más dificultad para expresarse con el lenguaje verbal escrito. Podría atribuirse a un menor bagaje conceptual o a que se sienten más cómodos con la forma de expresión mediante el lenguaje simbólico.

Por último, un 44 % de los alumnos que realizaron la tarea integradora final no construyeron un modelo mental de este tipo de reacción. Algunos de estos alumnos plantean la ecuación molecular en forma correcta. Esto daría a entender que manejan los símbolos como los de una ecuación matemática, en la que el número y clase de átomos que encuentran en el primer miembro de la ecuación debe estar presente en el segundo miembro. Los datos serían computacionalmente intratables, por lo que, atendiendo al principio N° 5 de Johnson-Laird estos alumnos no han formado un modelo mental de este tipo de reacción.

Conclusiones

Como ya se anticipó, en esta investigación se ha pretendido caracterizar los modelos mentales que construyen los alumnos que forman parte de un curso de nivelación con modalidad semipresencial, y analizar la incidencia del uso del entorno virtual en dicho proceso.

En este trabajo se trató de inferir las características de las representaciones mentales internas de un grupo de estudiantes a partir del análisis de sus representaciones externas, en este caso, sus producciones escritas. La tarea no ha sido sencilla, ya que se ha tratado de reconocerlos a partir de las producciones de los alumnos en el contexto real de trabajo, y no a partir de situaciones artificiales.

Se aplicó la teoría de Johnson-Laird a casos concretos, valiéndose de los principios que este autor atribuye a los modelos mentales, como guía que permite delimitar criterios para determinar las características del proceso mental que han realizado los estudiantes.

Se han logrado encontrar categorías de análisis que permiten comprender las estructuras mentales de los estudiantes. Dichas categorías se relacionan con la significatividad otorgada a los conceptos, con la utilización de los mismos en las explicaciones e inferencias realizadas, con la coherencia de las distintas formas de representación utilizadas para interpretar diferentes tipos de transformaciones químicas.

La comparación de las tareas realizadas por los alumnos sugiere que la mente humana construye modos de representación diferentes. Los estudiantes, trabajando con un material idéntico, con los mismos docentes, han construido representaciones diferentes. Tal como plantea Johnson-Laird la mente humana opera con un triple código, las proposiciones, modelos mentales e imágenes. Cuando los estudiantes han logrado construir un modelo mental, lo que implica la comprensión de un fenómeno, las proposiciones utilizadas muestran coherencia, no se limitan a frases sueltas carentes de sentido, y muestran consistencia con las imágenes utilizadas. En caso contrario la información recibida se procesa como un conjunto de indeterminaciones que el modelo no puede integrar, que no serían computacionalmente tratables porque no les asigna significado. Corresponderían a casos computacionalmente intratables, teniendo en cuenta el principio de indeterminación presentado por Johnson-Laird, con lo cual se podría inferir que los estudiantes no han construido un modelo.

La relevancia que los estudiantes otorgan a los conceptos depende del modelo mental construido. Algunos alumnos, utilizan más información e incluyen en sus explicaciones un mayor número de conceptos. Otros, presentan explicaciones más limitadas y sencillas para interpretar el mismo hecho. También es factible encontrar a un grupo de alumnos que no puede explicar cómo se produce una reacción química de algún tipo en particular, aunque logren puntajes que les permiten aprobar distintas instancias de evaluación. Esto denota un aprendizaje memorístico y poco significativo. Como no logran vincular estos conocimientos con los que ya poseen, al no otorgarles sentido, terminan perdiéndolos sin lograr aplicarlos en otros contextos ni en instancias futuras.

El análisis de las tareas permitió inferir que la herramienta utilizada por los estudiantes no es neutral, modificando la forma de pensar y actuar de los mismos. Se confirma la hipótesis planteada de que el uso del entorno virtual incide en la construcción de los modelos mentales por los estudiantes que participan del curso, teniendo dichos modelos un mayor poder predictivo y explicativo.

La mayoría de los alumnos, de acuerdo al análisis realizado, aplica en forma mecánica el intercambio de iones basándose en la ecuación molecular, pero no lo interpreta en términos de partículas, lo cual conduce a errores a la hora de determinar si es factible o no que se produzca una reacción entre determinadas sustancias.

La utilización del lenguaje disciplinar facilita la comprensión del fenómeno químico a nivel de partículas y permite la interpretación del mismo a nivel macroscópico. El manejo del lenguaje simbólico y de las ecuaciones iónicas facilita la comprensión del fenómeno a nivel de partículas. Se desprenden a partir de esta investigación las siguientes conclusiones finales:

- El conocimiento de cómo aprenden nuestros alumnos constituye una información muy importante a la hora de diseñar materiales educativos que permitan construir modelos mentales con mayor potencialidad explicativa y predictiva. Debería contemplarse en el diseño de los

mismos tareas en las que se presente la búsqueda de contraejemplos de modo de reducir el número de errores en el razonamiento.

- El uso de recursos multimediales favorece la formación de modelos mentales consistentes con los modelos conceptuales, pero esto dependerá en gran medida de las características de la tarea solicitada.
- Las tareas que exigen la representación de los fenómenos químicos utilizando diferentes lenguajes favorecen su comprensión.
- Las ecuaciones iónicas tienen un papel relevante en el proceso de vinculación del nivel submicroscópico con el macroscópico para las reacciones en solución acuosa de compuestos inorgánicos.

Referencia Bibliográfica

- ANDERSSON, B (1990). Pupils' conception of matter and transformation (age 12-16). En Lijst, P.; Licht, P. de Vos, W.; y Why Wear, A. (eds). *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles: A central problem in secondary science education*, pp. 12-35.
- BODNER, G. y DOMIN, D. (2000). Mental Models: The Role of Representations in Problem Solving in Chemistry. *University Chemistry Education* 4 (1), p. 24-30.
- BURKE, K. A., GREENBOWE, T. J. y WINDSCHITL, M. A. (1998). Developing and Using Conceptual Computer Animations for Chemistry Instruction. *Journal of Chemical Education*, 75, pp. 1658-1661.
- CABERO, J. (2001). *Tecnología educativa. Diseño y utilización de medios en la enseñanza*. Ed. Paidós. Barcelona. España
- COKELEZ, A.; DUMON, A. y TABER, K.. (2008). Upper Secondary French Students, Chemical Transformations and the "Register of Models": A cross-sectional study. *International Journal of Science Education*. Vol. 30, N° 6, pp. 807-836.
- GALAGOVSKY, L. R.; RODRÍGUEZ, M. A.; MORALES, L. F. y STAMATI, N. (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*, Vol. 21 N°1, pp. 107-121.
- GARCÍA MADRUGA, J. A. (1988). Entrevista a Philip N. Johnson Laird. *Cognitiva*, Vol. 1 N°3, pp. 311-333.
- GENTNER, D. y STEVENS, A. (1983). *Mental Models*. Cognitive Science (Lawrence Erlbaum Associates), EEUU.
- GRECA, I. y MOREIRA, M. A. (1998). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Vol. 15 N°2, pp. 107-120
- GUTIÉRREZ, R. (2005). Polisemia actual del concepto "Modelo mental". Consecuencias para la investigación didáctica. *Investigações em Ensino de Ciências*, Vol. 10 N°2, pp. 209-226
- JOHNSON-LAIRD, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge, M.A.: Harvard University Press.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. (1996). Capítulo 3: Images, Models, and propositional Representations. En M. de Vega, M.J. Intons Peterson, P. Johnson-Laird, M.I Denis y M. Marschark (Eds.), *Models of Visuospatial Cognition* New York: Oxford University Press.

- JOHNSON-LAIRD, P. N. (2010). Mental models and human reasoning. *PNAS*, Vol. 107 N° 43, pp. 18243-18250.
- JOHNSTONE, A. H. (1982). Macro and micro chemistry. *School Science Review*, 64 (227), pp. 377-379.
- JOHNSTONE, A. (2000). Teaching of Chemistry - Logical or psychological ?. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, Vol. 1 N° 1, pp. 9-15.
- KOZMA, R. B. y RUSSELL, J. (1997). Multimedia and Understanding: Expert and Novice Responses to Different Representations of Chemical Phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 34 N° 9, p- 949-968.
- KOZMA, R. B.; RUSSELL, J. W.; JONES, T.; WYKOFF, J.; MARX, N. y DAVIS, J. (1997) Use of simultaneous-synchronized macroscopic, microscopic, and symbolic representations to enhance the teaching and learning of chemical concepts. *Journal of Chemical Education*. Vol. 74 N° 3.
- MOREIRA, M. A. (1996). Modelos mentais. *Investigações em ensino de Ciências*, Vol. 1 N°3, pp. 193-232.
- OTERO, M. R. (1999). Psicología Cognitiva, Representaciones mentales e Investigación en Enseñanza de las Ciencias. *Investigações em Ensino de Ciências*, V4 N°2, pp. 93-119.
- RODRÍGUEZ PALMERO, M. L. y MOREIRA, M. A. (1999). Modelos mentales de la estructura y el funcionamiento de la célula: dos estudios de casos. *Investigações em Ensino de Ciências*, Vol. 4 N°2, pp. 121-160.
- SCHNOTZ, W. y LOWE, R. (2003). External and internal representations in multimedia learning. *Learning and Instruction*, Vol. 13, pp. 117-123.
- SOLSONA, N.; IZQUIERDO, M. y DE JONG, O. (2003): Exploring the development of students' conceptual profiles of chemical change. *International Journal of Science Education*, Vol. 25 N° 1, pp. 3-12.
- SUÁREZ, C. (2006) Los entornos virtuales de aprendizaje como instrumento de mediación. *Investigación Educativa*, Vol. 10 N° 18, pp. 41-56.
- TÓJAR HURTADO, J. C. (2006). *Investigación cualitativa. Comprender y actuar*. Madrid: Editorial La Muralla.