

Modelar la naturaleza discontinua de la materia: una propuesta para la Escuela Media

Jimena Giudice^{1,2} y Lydia Galagovsky²

¹Colegio Esclavas del Sagrado Corazón de Jesús. Ituzaingó. Buenos Aires. Argentina.

²Grupo de Investigación en Aprendizaje y Didáctica de las Ciencias Naturales (GIADiCeN). Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (CEFIEC). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Argentina. E-mail: lyrgala@qo.fcen.uba.ar

Resumen: Modelar es una de las habilidades cognitivas que se espera sean desarrolladas por los estudiantes en asignaturas de ciencias naturales, dado que esta estrategia es subyacente a la forma de trabajo de los científicos. Este trabajo presenta una secuencia didáctica a partir de la cual se han constatado evidencias que muestran cómo estudiantes de escuela media han llegado a modelar verbal y gráficamente sobre la naturaleza discontinua de la materia.

Se compararon los logros de aprendizaje entre un "grupo prueba" en el que se aplicó la secuencia didáctica innovadora y otro, que se consideró "grupo de contraste".

Básicamente, la innovación consistió en presentar a los estudiantes del denominado "grupo prueba" dos experiencias macroscópicas sin ningún tipo de explicación previa, como disparadoras de sus habilidades cognitivas de modelización. Las dos experiencias de laboratorio eran: (a) la sublimación del yodo y (b) el pasaje por los estados de agregación del agua.

El grupo de contraste recibió la explicación teórica sobre el Modelo Cinético Molecular previamente a la realización de las experiencias.

En una actividad posterior, se solicitó a los estudiantes del "grupo prueba" que hicieran una analogía para explicarle lo sucedido a un "amigo ciego"; esta tarea les demandó la explicitación de sus modelos mentales, aplicándolos a otras situaciones concretas.

Los resultados indicaron que la capacidad de modelización depende de la existencia o no de explicación previa por parte del docente. Esta evidencia lleva a reflexionar sobre cómo los estilos de enseñanza pueden favorecer -o no- la construcción de ciertos tipos de conocimiento.

Palabras clave: aprendizaje, enseñanza, modelo, analogías, naturaleza discontinua de la materia.

Title: Teaching students to model the discontinuous nature of matter: an approach.

Abstract: Modeling is a cognitive ability that students are expected to develop in classes of natural sciences due to its importance as a regular activity made by scientists. In this work we introduce a series of activities for secondary school that evidence students' ability to model –verbally and graphically— about the particulate nature of matter.

Results from two groups were compared: one of them followed the innovative sequence of activities and the other was the standard one.

The group considered as the standard one received the traditional explanation for the Molecular Kinetic Model before performing two laboratory experiences: (a) Iodine sublimation; (b) changes of water physical states.

Basically, the innovation consisted in asking students of the other group to explain the two lab experiences without having received any previous explanation at the submicroscopic level. They needed to model to interpret macroscopic evidences. Finally, these students were asked to explain their proposals by analogies for a "blind friend". This task demanded them to express their models by applying them to a different situation.

Results showed that students' modeling ability depends on the existence -or not- of the teacher's previous explanation. This evidence leads to think about how teaching styles may favor or interfere with different types of learning.

Key words: teaching, learning, model, analogy, particulate nature of matter

Introducción

La naturaleza discontinua de la materia resulta central en ciencias naturales. Así, la enseñanza del Modelo Cinético Molecular (MCM) es uno de los primeros tópicos en ser enseñados en la escuela secundaria, ya que da cuenta tanto de una multiplicidad de fenómenos sencillos de física y de química, como de consideraciones atómico moleculares fundamentales en la publicación de trabajos científicos (Fernández Prini et al., 2005). El MCM es, además, reiteradamente enseñado durante los años escolares; sin embargo, a los estudiantes les resulta difícil "ver" lo que sucede submicroscópicamente entre las partículas de materia que aumentan su energía interna al entregárseles energía térmica. La literatura de investigación en didáctica de las ciencias muestra que los estudiantes no comprenden fácilmente esta cuestión fundamental y, más aún, detecta una enorme dificultad en lograr el pasaje conceptual desde la idea de continuidad de la materia, hasta la de formada por partículas en movimiento (Driver, Guesne y Tiberquien, 1992; Espíndola y Cappannini, 2006; Talanquer, 2006).

Generalmente el MCM se presenta como definición tanto en los libros de textos como en el aula. Su enseñanza desde el relato verbal y gráfico (ver figura 1) es tradicionalmente presentada por los docentes como un hecho consumado y lógicamente cerrado. Los docentes debemos estar alertas acerca de que enseñar modelos no es sinónimo de enseñar a modelar (Galagovsky, 2007b).

Recientemente, muchas investigaciones sobre aprendizaje de las ciencias señalan la importancia de los modelos mentales como base para el razonamiento y la resolución de problemas (Bodner y Domin, 2000; Solaz y López, 2007). La mente construye modelos internos del mundo externo y los usa para razonar y tomar decisiones. Los modelos mentales pueden representar relaciones entre entidades tridimensionales o abstractas, pueden ser estáticos o dinámicos, y pueden servir de base a imágenes, aunque muchos componentes de los modelos no sean visualizables (Johnson-Laird, 2000).

Comprender la lógica de las representaciones mentales (RM) de los estudiantes acerca de entidades submicroscópicas explicativas de fenómenos macroscópicos permitiría a los docentes hacer "visible" cómo ellos están imaginando el interior de la materia. Sin embargo, pocas son las ocasiones de aula en las que los estudiantes expresan sus representaciones mentales. En el presente trabajo proponemos una secuencia didáctica que involucra eventos macroscópicos derivados del MCM que deben ser explicados submicroscópicamente por los estudiantes; esto les requiere poner en funcionamiento sus habilidades cognitivas de modelización. Los resultados finales indican que estas habilidades son fuertemente interferidas si el docente ha presentado previamente la información teórica correspondiente.

Objetivos

El objetivo general del presente trabajo fue analizar cómo los aprendizajes, los conocimientos y las percepciones se combinan para generar en los estudiantes secundarios modelos explicativos sobre la naturaleza discontinua de la materia, a partir de experiencias que intentan hacer "visibles" fenómenos que requieren explicaciones a nivel molecular.

Este objetivo general se logra a partir del desarrollo de los siguientes objetivos específicos:

- a) Diseñar una secuencia de experiencias macroscópicas sencillas que evidenciaran la existencia de partículas en un sólido, en un líquido y en un gas.
- b) Evaluar la capacidad de los estudiantes para generar explicaciones verbales y gráficas acerca de una posible interpretación modelada de dichas experiencias, sin haber recibido información científica previa sobre las mismas.
- c) Evaluar la capacidad de los estudiantes de generar analogías no visuales sobre sus explicaciones.
- d) Comparar las habilidades de modelización entre el grupo de estudiantes sobre el que se aplicaron los objetivos anteriores (grupo prueba), y otro grupo al que se le impartió la información científica explicativa del MCM como actividad previa a las experiencias (grupo de contraste).

Marco teórico

Acerca de la Teoría Cinético Molecular

Cualquier porción macroscópica de materia está constituida por una enorme cantidad de partículas animadas por movimiento constante. Los desplazamientos moleculares están vinculados a la energía de las moléculas. La energía cinética está directamente relacionada con el desplazamiento de las moléculas; la energía potencial por otra parte, involucra interacciones entre las moléculas que dependen de la distancia promedio entre las mismas. Las propiedades macroscópicas de la materia son manifestaciones del comportamiento promedio de todas las partículas del sistema considerado (Fernández Prini et al., 2005).

El MCM permite explicar desde leyes de los gases hasta cambios en los estados de agregación de la materia. De allí, su importancia como primer modelo de trabajo en las clases de ciencias naturales en la escuela secundaria. Un aprendizaje completo del MCM implica apropiarse -al menos- de los siguientes conceptos y variables que involucra:

Conceptos del MCM	Variables del MCM
Materia formada por partículas	Temperatura
Fuerzas interpartículas	Distancia promedio entre las partículas (energía potencial)
Movimiento de partículas	Velocidad promedio de las partículas (energía cinética)

Tabla 1.- Conceptos y variables involucrados en el MCM.

Junto con estos conceptos y variables consideramos importante que los estudiantes a su vez puedan incorporar nociones relevantes a la idea de proceso dinámico que implican los cambios de estado, debiéndose para ello considerar:

- la secuencia temporal de acontecimientos, y
- la energía térmica entregada al sistema ("calor").

El tiempo no es una variable termodinámica, sin embargo, lo consideramos en el sentido que al variar el tiempo de calentamiento, o de reposo del sistema (después del calentamiento) se modifica el resultado del experimento.

Frecuentemente, la enseñanza del MCM se presenta a los estudiantes como una serie de afirmaciones acompañadas por dibujos como los que se muestran en la figura 1 y, generalmente, se ejemplifica para el sistema hielo-agua líquida-vapor de agua.

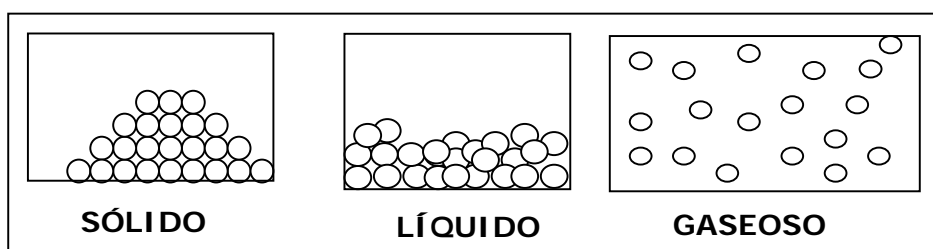


Figura 1.- Prototipos de dibujos frecuentemente asociados a explicaciones tradicionales del MCM y a su relación con los cambios de estados de agregación de la materia.

Acerca de los modelos mentales y la modelización

Los que enseñamos química solemos decir que trabajamos con “modelos” y que, por lo tanto, aprender ciencias es, justamente, aprender a usar modelos. Pero... ¿qué es un modelo? ¿Qué es modelar? ¿Qué habilidades cognitivas se requieren para la actividad de modelización?

Según Justi y Gilbert (2002): “Los químicos modelan tanto lo que ellos observan como las ideas con las cuales tratan de explicar tal fenómeno –esto es, tanto el nivel macroscópico como el nivel submicroscópico de Johnstone (1991)- usando analogías con lo que ya se sabe. Las producciones derivadas de tales procesos se expresan en modos de representación concreto, visual, matemático y/o verbal, algunas veces utilizando símbolos especiales que constituyen el lenguaje químico (ejemplo, las fórmulas de los compuestos). Más aún, los químicos somos capaces de transformar modelos expresados en un modo de representación, a otros modos equivalentes de representación (...). Así, el conocimiento químico es producido y comunicado a través de usar diferentes modelos, que evolucionan y cambian con el avance del campo de conocimientos.”

Según Johnson-Laird (1996) desde la psicología cognitiva, los humanos no conocemos directamente “la realidad”, sino que la construimos a partir de modelos mentales que nos permiten interpretar lo que percibimos. Estos modelos mentales incluyen representaciones proposicionales e imágenes, que serían sus componentes expresables verbal o perceptiblemente, respectivamente. Estos modelos son las visiones que las personas tienen del mundo, de sí mismas, de sus propias capacidades, de lo que los demás esperan de ellos. Se forman en la interacción con el medio y con los otros; poseen poder predictivo y explicativo. Según Moreira (1996), desde la didáctica de las ciencias, los modelos mentales permiten a los individuos entender fenómenos, hacer inferencias y predicciones, decidir las acciones a tomar y controlar su ejecución. Se trata de modelos de trabajo (working models) contruidos dentro del campo de conocimientos de una disciplina.

Desde nuestras investigaciones, entendemos que la comunicación comprensiva entre individuos puede lograrse cuando se comparten modelos mentales sobre determinado fenómeno. El flujo del conocimiento desde la mente de los expertos (docentes) hacia la mente de los estudiantes (novatos),

requiere de explicitaciones donde los lenguajes utilizados son las interfases de una cadena de comunicación (Galagovsky, 2007b):

Los científicos construyen modelos mentales expertos acerca de determinados fenómenos; esos modelos mentales expertos "no se ven", pues están en las mentes de los científicos. Esos modelos se explicitan, se discuten con pares durante el proceso de publicación de los mismos, hasta llegar a conformar lo que se denomina "modelos científicos" (Giere, 1992).

Los docentes simplificamos los modelos científicos y construimos nuestros propios modelos mentales acerca de ellos. Para comunicar a los estudiantes estos "modelos de ciencia escolar", utilizamos una variada gama de representaciones didácticas, que involucran complementariamente diferentes lenguajes (verbales, gráficos, visuales, matemáticos, etc.) (Galagovsky et al., 2003; Galagovsky, 2005; Galagovsky et al., 2008).

Los estudiantes construyen sus propios modelos mentales idiosincrásicos en función de la información que reciben de sus profesores, de los textos y de sus propias características cognitivas. Éstos suelen estar basados en el "sentido común" y contruidos otorgando significaciones cotidianas a las palabras y dibujos provenientes de la instrucción (Galagovsky et al., 1998; Bekerman y Galagovsky, 2005; Bekerman, 2007).

Pozo y Gómez Crespo (1998) sugieren que enseñar ciencias no consistiría en proporcionar conceptos a los alumnos sino en cambiar los que poseen; no bastaría con exponer al alumno a un modelo explicativo mejor, habría que *hacerle ver* que es mejor. Según Pozo (2005) *"para que el alumno pueda comprender la superioridad de la nueva teoría es preciso enfrentarlo a situaciones conflictivas que supongan un reto para sus ideas. De esta forma, el conflicto cognitivo es muy importante en el avance conceptual del alumno, aunque en ningún caso debe considerarse condición suficiente para el cambio conceptual"*. Finalmente, se acepta que la toma de conciencia por parte del alumno sobre sus teorías iniciales, muchas veces implícitas, es un paso indispensable para el cambio conceptual; sin embargo, aún no hay evidencias concretas sobre cómo lograr este ansiado cambio.

Desde nuestro punto de vista, para lograr el cambio conceptual, el docente debería incluir, al menos para algunos temas, estrategias didácticas que permitan a los estudiantes modelar. Luego ellos deberían tomar conciencia sobre diferencias y parecidos entre sus modelos y los modelos científicos. Si bien esta podría ser una forma de tender al cambio conceptual, esperar que los estudiantes cambien sus posturas por otras más apropiadas por ser *científicas* es de dudosa certeza: la historia de las ciencias está plena de ejemplos en los cuales nuestros *próceres* científicos evidenciaron gran testarudez en cambiar sus modelos mentales explicativos por otros que finalmente resultaron ser más apropiados (Gellón, 2007; Níaz, 2008).

Acerca de los lenguajes como interfases entre la enseñanza y el aprendizaje

En los últimos años se está difundiendo un nuevo tipo de enseñanza de las ciencias centrado en el “*aprender a hablar y a escribir ciencia*”, es decir, centrado en la apropiación del lenguaje científico por parte de los estudiantes, como un proceso gradual y contextualizado (Lemke, 1997; Galagovsky, 2003, 2007 a y b). La problemática del contexto en el lenguaje es un importante tema de investigación, ya que ella hace evidente la fractura entre lo que llamamos ciencia erudita y ciencia escolar.

A través del lenguaje, cada sujeto construye sus conocimientos. Parte de esos conocimientos son nuestras creencias, ideas, opiniones, significaciones, etc. A todo ese conjunto de elementos de nuestro conocimiento lo llamamos representaciones mentales. Cuando un conjunto de RM se articula en torno de un contenido, podemos considerar que el sujeto construye un modelo mental sobre dicha temática, que le es funcional para entender, explicar y predecir hechos.

Los expertos en un tema manejamos modelos mentales y RM acerca de ese contenido. Al enseñar, expresamos en diferentes lenguajes esas RM y esos modelos; generalmente, repetimos expresiones verbales y hacemos dibujos (expresiones en lenguaje gráfico) que, desde nuestro conocimiento experto, son explicaciones complementarias que ayudan a plasmar el mensaje que queremos transmitir: una porción de información científica.

Los estudiantes, a partir del discurso docente, construyen en sus mentes sus primeras y rudimentarias RM sobre los temas científicos. Una dificultad importante que impide que se produzcan aprendizajes significativos proviene de las grandes diferencias entre las diversas representaciones mentales idiosincrásicas que construyen los alumnos acerca del mundo natural y las correspondientes representaciones que tenemos los docentes en mente. Podríamos afirmar, entonces, que la diferencia entre los modelos mentales involucrados en uno y otro extremo de la comunicación entre expertos y novatos provienen de habilidades cognitivas y destrezas tanto representacionales como lingüísticas (Galagovsky, 2007a y b).

En la figura 2 mostramos en forma esquemática lo dicho, es decir, las destrezas cognitivas de expertos y novatos estarían constituidas por sus respectivas representaciones mentales -que no se ven-, así como por sus habilidades lingüísticas utilizadas en la comunicación.

Hemos aclarado aspectos sobre el concepto de RM, cabe ampliar brevemente ahora el concepto de “destrezas lingüísticas” que refiere a las habilidades de un sujeto para expresarse y para comprender un mensaje. Evidentemente, la comunicación entre dos sujetos requiere que ambos compartan algún lenguaje; esto significa que otorguen significaciones similares a determinados códigos. Los lenguajes pueden ser visuales, gestuales, matemáticos, gráficos, verbales, etc. El concepto de “ideograma” de Charles Pierce (Delledale, 2001) para lograr una comunicación “universal” a partir de códigos gráficos resultó un punto de partida importante para las investigaciones sobre comunicación.

Por otra parte, el análisis de cualquier lenguaje verbal no ideográfico ha suscitado numerosos modelos teóricos dentro del campo de la lingüística (de Saussure, 1964; Chomsky, 1971; Jakobson, 1975; Climent, 1999). Si bien las diferentes posturas teóricas están en continua evolución, se admite que todo lenguaje verbal consta de una serie de elementos constitutivos -o signos- de los cuales la palabra es la unidad de significado. Cada palabra presenta un significante (la imagen sonora o gráfica de la palabra) y un significado (el concepto o referente al cual alude). Las diferentes palabras se organizan en oraciones según reglas sintácticas propias de cada idioma. Por lo tanto, el *aspecto sintáctico* de un lenguaje está referido al formato explícito de sus expresiones, mientras que el aspecto semántico del mismo está referido a la asignación de significados: debe haber procesos de decodificación adecuados y consistentes para la comprensión de un mensaje entre los sujetos emisores y receptores de dicho mensaje.

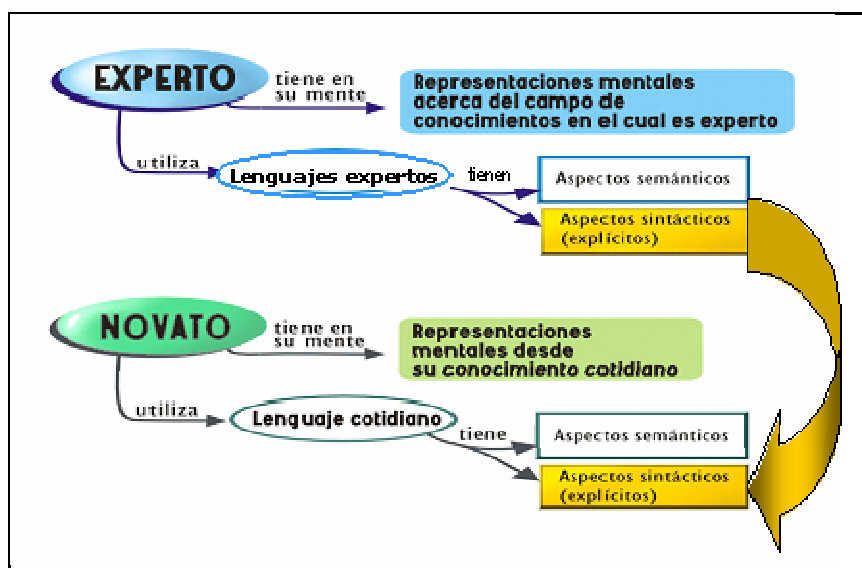


Figura 2.- Diferenciación entre habilidades cognitivas entre expertos y novatos

El aspecto sintáctico es explícito, podemos acceder a él involucrando nuestros sentidos: es el aspecto perceptible de la comunicación. Desde nuestras investigaciones proponemos que este aspecto sintáctico no debe confundirse con el conocimiento de los sujetos, ni con las significaciones que éstos otorgan a la información explícita. Lo que se construye en la mente -tal como las significaciones- no es directamente observable ni registrable (Galagovsky, 2004 a y b; 2007 a y b). La figura 2 remarca que la comunicación se establece a partir del aspecto sintáctico explícito y esto sustenta el hecho frecuentemente observado que los estudiantes toman el discurso explícito que sus docentes presentan y son capaces de repetirlo exactamente sin haberles dado significaciones apropiadas (Galagovsky et al., 1998).

La figura 3 muestra gráficamente que la significación que se le da a las palabras es algo que ocurre "dentro de la cabeza" de los sujetos. Lo que está en la mente no se puede "ver" ni percibir mediante los sentidos. Cuando enseñamos, los docentes transformamos en información circulante parte de nuestros conocimientos; pero, al recibir tal información, los estudiantes noveles no construyen automáticamente en sus mentes significaciones idénticas a las nuestras.

Particularmente las ciencias naturales involucran en sus discursos numerosos lenguajes diferentes (lenguaje verbal, gráfico, matemático, de fórmulas, etc.). El aprendizaje de cada uno de estos lenguajes constituye una tarea bien dificultosa para los estudiantes. En otros trabajos hemos demostrado que buenos estudiantes cometen errores de traducción al intentar recordar aprendizajes en diferentes lenguajes (Bekerman, 2007; Galagovsky y Bekerman, 2008).



Figura 3.- Expertos y novatos se comunican a través de información circulante (explícita, perceptible). El conocimiento y las significaciones que cada sujeto tiene o va construyendo en su mente, "no se ven".

Modelar es una estrategia cognitiva. Los científicos modelan para explicar fenómenos creando información científica. Los docentes tomamos parte de esos contenidos explícitos, que constituyen los modelos científicos, y los adaptamos para presentar una información más simplificada a nuestros estudiantes. Los estudiantes reciben esa información explícita (Galagovsky et al., 2008): esta acción pasiva no es sinónimo de modelar. Leer textos, mirar dibujos y repetirlos, no es equivalente a una actividad de modelización.

Acerca de los modelos didácticos

Las investigaciones en didáctica de las ciencias apuntan a lograr un cambio conceptual en los estudiantes (Posner et al., 1982) es decir, lograr un cambio desde sus ideas previas explicativas sobre determinados temas científicos - generalmente implícitas y erróneas- hasta hacerlos aceptar que el discurso científico es mejor. Con esta perspectiva, el esquema simplificado de una propuesta didáctica podría consistir en una secuencia de actividades tales que:

En un primer momento, los estudiantes tienen que exponer sus ideas previas, hacerlas explícitas.

En un segundo momento, el docente presenta una evidencia experimental que hace entrar en conflicto cognitivo a estas ideas previas.

Finalmente, los estudiantes reconocen la superioridad explicativa del modelo científico.

Desde nuestras investigaciones, hemos presentado un modelo didáctico basado en aspectos epistemológicos, cognitivos y comunicacionales del aprendizaje, que hemos denominado Modelo de Aprendizaje Cognitivo, Consciente Sustentable (MACCS) (Galagovsky 2004 a y b). Este MACCS sugiere la necesidad de generar en la mente de los estudiantes conceptos sostén, los cuales permitirán procesar la información científica y, por lo tanto, sobre los cuales se construirá el nuevo conocimiento. Los conceptos sostén tienen las siguientes características:

- están en la mente de los estudiantes antes de recibir la información a aprender,
- son los conceptos en los que se asentará un aprendizaje sustentable; es decir un aprendizaje significativo y correcto,
- los conceptos sostén son siempre conceptos inclusores (Novak, 2001) porque relacionan la información entrante con la ya existente; sin embargo,
- los conceptos inclusores no siempre son conceptos sostén ya que pueden no ser adecuados y generar aprendizajes significativos erróneos. A nuestro entender, este tipo de aprendizaje (a la vez científicamente incorrecto y muy arraigado y significativo) es el que da origen a muchas ideas previas, alternativas o creencias ingenuas (Bruning et al., 2002) resistentes al cambio conceptual.

Una propuesta didáctica basada en el MACCS, debe contener actividades planificadas, de tal forma de (a) no atosigar de entrada a los estudiantes con información científica; (b) mediante consignas apropiadas, facilitar la construcción mental de conceptos sostén adecuados para el posterior procesamiento de la información a ser aprendida; (c) aumentar el tiempo dado a los estudiantes para elaborar y expresar sus conceptos sostén, creando un clima de confianza para que ellos comuniquen sus ideas mediante sus lenguajes cotidianos; (d) valorar las construcciones de conocimiento realizadas por los estudiantes que serán los conceptos sostén sobre los cuales, posteriormente, se asentarán, conectarán o corresponderán conceptos y terminología científica precisos. Es decir, un punto fundamental del MACCS reside en la necesidad de que los estudiantes expliciten sus conceptos inclusores frente a consignas docentes pertinentes. En esta actividad de puesta en común argumentativa –de resolución de un conflicto cognitivo– es cuando los estudiantes, orientados por el docente, llegan a seleccionar sus conceptos sostén apropiados.

En este trabajo se presenta una secuencia didáctica innovadora, basada en el MACCS.

Metodología

El presente trabajo involucró dos grupos mixtos de estudiantes de 16 años de la misma escuela secundaria (en el medio educativo local, según el diseño curricular jurisdiccional, este nivel escolar se corresponde también con un segundo año de Polimodal, el esquema es de 9 años de Escuela General Básica y 3 años posteriores de Polimodal). Estos estudiantes habían comenzado su curso lectivo de la asignatura Química recientemente, habiendo visto como unidad temática previa la de sistemas materiales. En años anteriores los programas de estudios incluían temas relacionados, tales como cambios de estado, especialmente para el caso del agua, conceptos sobre estados de agregación de la materia y sobre desorden molecular en relación al movimiento browniano de las partículas.

Ambos grupos (denominados grupos A y B) acompañados por la misma docente, realizaron dos experiencias de laboratorio y sendos cuestionarios, presentados a continuación como actividades 1, 2 y 3. Al grupo A, formado por 40 alumnos, se aplicó la secuencia didáctica de las tres actividades sin haber brindado información teórica previa sobre el MCM. Llamaremos a este grupo "grupo de prueba". Al grupo B, constituido por 52 alumnos, se les explicó el MCM en forma tradicional, utilizando la figura 1 como recurso didáctico gráfico previamente a la realización de las tres actividades. Denominaremos a este grupo "grupo contraste".

Cada estudiante (en ambos grupos) realizó las experiencias propuestas y las discusiones en pequeños grupos de trabajo, pero debió responder individualmente a las preguntas y cuadros. Se recogieron las producciones escritas, y los gráficos realizados.

Para completar la secuencia innovadora, se solicitó a los estudiantes del grupo A que elaboraran una analogía no visual, según se explicita en la actividad 4.

Durante las actividades la docente recorría los grupos, auxiliándolos tanto en aspectos experimentales como para encauzar sus discusiones acerca de las actividades propuestas. Las sugerencias de la docente orientaban el trabajo de los estudiantes, pero no les resolvía los problemas que se les planteaban. Un auxilio interesante para ayudar a los estudiantes a expresarse verbalmente en sus descripciones o argumentaciones consistió en solicitarles que formaran un subgrupo de dos y compartieran sus relatos para ver si los entendían; el resultado fue, claramente, que mejoraron sus producciones escritas.

Actividades y tiempos dedicados a cada una

Actividad 1: ¿De dónde salen los vapores violetas y las "brillantinas"?

Experiencia de laboratorio: Colocar esferitas o polvo de yodo en un frasco. Cerrarlo con su tapa, colocarlo y asegurarlo sobre un trípode. Calentar con

cuidado la base, utilizando un mechero. Dejar enfriar. Destapar cuidadosamente observando la parte interior de la tapa. Discutir qué observaron, por qué pasó lo que observaron y qué inconvenientes tuvieron. Dibujar lo visto.

La resolución de esta actividad, incluyendo la información acerca de las medidas de seguridad en el laboratorio, requirió el uso de dos módulos horarios de 50 minutos cada uno.

Esta actividad tenía como objetivo que los estudiantes se familiarizaran con el sistema y con los procesos de calentamiento y enfriamiento, desde una actitud lúdica y de observación (el nombre de "brillantinas" para el yodo sublimado había surgido en años anteriores cuando se probó por primera vez esta actividad en un aula). Los estudiantes se mostraron muy motivados frente a la experimentación, e incrédulos ante la aparición de los cristales de yodo en la parte interior de la tapa del frasco. Algunos estudiantes creyeron que dichas agujitas violetas podrían haber estado allí desde el principio (a pesar de que ellos mismos armaron el sistema); por ello, muchos grupos quisieron reproducir la experiencia, con un nuevo frasco.

Actividad 2: ¿Qué hay dentro de los vapores violetas y de las "brillantinas"?

Rehacer el experimento anterior solucionando los problemas experimentales y completar el siguiente cuadro:

Momento de la experiencia	¿Qué ves? Dibújalo	a) Estados de agregación del yodo b) ¿Qué cambios de estados ves?	¿Qué crees que pasó adentro? Dibújalo

Se aclaró que este cuadro podía tener tantas filas como cada estudiante necesitara.

En esta actividad se debieron superar inconvenientes previos tales como la rotura del material del frasco de vidrio por el cambio brusco de temperatura, la humedad presente que producía empañamiento de las paredes que no permitía una visualización clara del experimento, o mal cerramiento de frascos. Con la resolución del cuadro en forma individual la actividad requirió nuevamente dos módulos horarios consecutivos de 50 minutos cada uno.

Actividad 3: Cuando el hielo se derrite. Cuando el agua se evapora.

Experiencia de laboratorio: colocar hielo en un frasco. Cerrarlo con su tapa, colocarlo y asegurarlo sobre un trípode. Calentar con cuidado la base, utilizando un mechero, hasta ebullición. Dejar enfriar. Destapar cuidadosamente observando la parte interior de la tapa. Completar un cuadro idéntico al de la actividad 2, esta vez para el hielo.

Esta actividad, con la resolución del cuadro en forma individual requirió nuevamente dos módulos horarios consecutivos de 50 minutos cada uno.

Actividad 4.- Explicación para un "amigo ciego"

Escribe cómo le explicarías a un "amigo ciego" qué ocurrió dentro del yodo y/o con el hielo en cada momento de las respectivas experiencias.

Esta actividad requirió un módulo horario de 50 minutos.

Instrumentos utilizados para recoger la información

Las respuestas de los estudiantes se plasmaron en hojas de carpeta, constituyendo un portfolio que fue recogido por la docente.

Expectativas que sustentan la secuencia didáctica.

Se esperaba que los estudiantes tomaran conciencia sobre los conceptos involucrados en las experiencias y que pertenecen a la explicación teórica sobre el MCM (temperatura, partículas, distancia interpartículas, movimiento, fuerzas interpartículas, tiempo de calentamiento, etc). Dado que el primer sistema eran cambios de estado sólido-vapor-sólido y el segundo sólido-líquido-vapor-líquido, los modelos propuestos por los estudiantes --mediante explicaciones y dibujos-- deberían adaptarse a sendas secuencias. Particularmente, cada actividad tenía una expectativa:

a) La actividad 1 fue diseñada para crear en los estudiantes un conflicto cognitivo frente a un hecho experimental: parte del sólido inicial -de aspecto consistente- se transforma por la acción del calor en una "nube" de color violáceo, que ocupa todo el volumen del frasco, y que luego, se transforma en unas delgadas agujitas sólidas de color violeta brillante, que penden de la parte inferior de la tapa del frasco y en sus paredes laterales. El conflicto cognitivo debía plasmarse en una pregunta del tipo: ¿Se disgrega el sólido por acción del calor en partículas pequeñas que luego pueden volver a juntarse para formar otra vez un sólido?

La toma de conciencia sobre lo visto macroscópicamente en la experiencia debía llevar a los estudiantes a tomar conciencia sobre que:

- en todos los momentos se está frente a la misma sustancia yodo, que cambia de estado de sólido a gaseoso y luego otra vez, sólido;
- el yodo gaseoso es el vapor violeta y el yodo sólido son tanto las bolitas iniciales del fondo del frasco como los cristalitos que aparecen como una "brillantina" en la parte de adentro de la tapa y en las paredes laterales de vidrio;
- los cambios de estado sólido a gaseoso tienen que ver con la temperatura, con la entrega de energía térmica;
- el gas ocupa todo el espacio disponible y el sólido uno mucho menor.

El dibujo solicitado debía representar lo ocurrido a escala macroscópica y, por lo tanto, debería diferenciarse claramente del que se pide en la actividad 2.

b) Para la actividad 2 se esperaba que surgiera el concepto de que adentro del yodo sólido hay partículas que se ponen en movimiento evidente con el aumento de la temperatura. También se esperaba que se dedujera que cuanto mayor es el movimiento más se separan las partículas y cuanto menor es el movimiento más se juntan. Finalmente, se deseaba que los estudiantes intuyeran que existe "algo" que debe mantener juntas a las partículas cuando están más quietas (algo así como "fuerzas de cohesión", o de atracción). El dibujo solicitado debía diferenciarse del realizado para la actividad 1 para responder a la consigna de qué hay "dentro" de los vapores violeta y de las "brillantinas". Es decir, con esta consigna pretendimos inducir a los estudiantes a pensar en una explicación de nivel submicroscópico y no meramente descriptiva del nivel macroscópico (como la actividad 1).

c) Para la actividad 3 se esperaba que la dificultad apareciera al dibujar el líquido, los cambios de estado y la explicación sobre qué mantiene unidas las partículas en dicho estado de agregación. Se esperaba que los estudiantes "reajustasen" el modelo del sólido que pasa a vapor al de un sólido que pasa a líquido y de allí a vapor. Asimismo, la existencia del vapor debería inferirse por la formación de gotas condensadas en la parte inferior de la tapa del frasco.

d) La actividad 4 se planteó para que los estudiantes del grupo A tuvieran que crear analogías no visuales, que explicaran con palabras lo que dibujaron en la última columna de los cuadros anteriores. Esta solicitud exigiría a los estudiantes comunicar conceptualmente modelos explicativos alternativos para que el supuesto interlocutor no vidente pudiera construir en su mente algo similar a lo que cada estudiante habría construido en la suya (Espindola y Capannini, 2006).

Las explicaciones y dibujos de las actividades 1, 2 y 3 requerían que los estudiantes modelaran las experiencias macroscópicas, explicándolas mediante la "invención imaginativa" de partículas a las que el calor las hace comportarse de manera diferente. Esta modelización debía ser adaptada a dos materiales diferentes (el yodo y el agua), despojando a las explicaciones verbales y gráficas de códigos particulares, para volverse más general, más abstracta. La actividad 4 resultaba sumamente demandante desde la creatividad y -esperábamos- sólo podría ser resuelta por aquellos estudiantes que hubieran logrado comprender que sus respuestas previas eran una modelización abstracta de dos situaciones diferentes, y que ésta, a su vez, podía ser transferible a otra situación concreta, mediante el uso de analogías sobre sus elementos teóricos componentes (Oliva, 2004; Adúriz Bravo et al., 2005).

Dado que en el grupo B los estudiantes habían recibido previamente una explicación teórica sobre el MCM a nivel de partículas, se esperaba que estos estudiantes utilizaran el nivel discontinuo de la materia en sus explicaciones y dibujos, aplicados ahora a los casos del yodo y del agua.

Para el grupo A, donde esta explicación previa no había sido dada, el rol orientador de la docente fue clave: no se trataba de un aprendizaje por descubrimiento autónomo, pues no se esperaba que los estudiantes tomaran conciencia del MCM con toda su terminología específica y su potencialidad

explicativa. Tampoco se trataba de una enseñanza orientada en el sentido de fomentar en los estudiantes el recuerdo de aprendizajes anteriores relacionados con este tema. La docente señaló que *“cada uno puede usar para contestar todo lo que sabe, pero lo más importante es lo que puedan imaginar ahora para explicar estas experiencias”*). La orientación de la docente consistía en alentar a los estudiantes a que explicaran y dibujaran no solo lo que veían, sino que se imaginaran qué podía estar ocurriendo “adentro del yodo y del agua” para que el resultado fuera el que ellos veían.

Resultados y discusión

A continuación se presentan casos ejemplificadores de las respuestas verbales y/o gráficas de los estudiantes de los grupos A y B. En la sección siguiente presentaremos el análisis de los resultados tomando la totalidad de los integrantes de cada grupo.

Grupo A: respuestas gráficas

Se presentan a continuación en la figura 4 respuestas gráficas dadas por diferentes estudiantes del grupo A. Los recuadros numerados se corresponden a la numeración que dieron los estudiantes a los diferentes momentos de la experiencia. En la figura 4 a se presenta un ejemplo de respuesta para la actividad 1, en la figura 4 b un ejemplo de respuesta para la actividad 2, en la figura 4 c otro ejemplo de un estudiante que anticipa ya en la primera actividad la existencia de entes submicroscópicos; y en la figura 4 d un ejemplo de respuesta a la actividad 3.

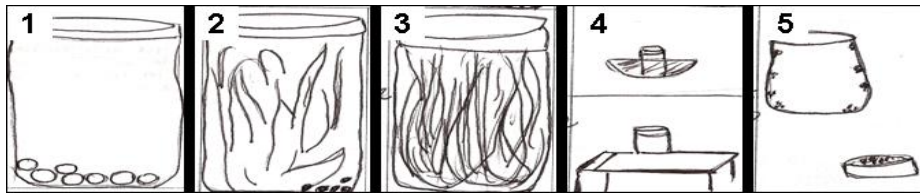
Como se observa en los dibujos, existió una marcada diferencia entre las representaciones macroscópicas con las que se describió la actividad 1 y la comprensión submicroscópica de los dibujos expresados como respuesta a la actividad 2. Evidentemente, los estudiantes comprendieron la necesidad de dibujar entes particulados que no se aprecian a simple vista en el sólido, pero que se hacen evidentes en el vapor y que son los responsables de la formación-aparición del nuevo sólido. El movimiento de las partículas de vapor se representa generalmente con rayas continuas (como señalando trayectorias). No hay códigos de orden de partículas para el sólido en relación a un desorden para el líquido (como en la figura 1); sin embargo, la idea de sólido se grafica mediante el delineo de bordes precisos en conglomerados de partículas.

Grupo A: respuestas verbales

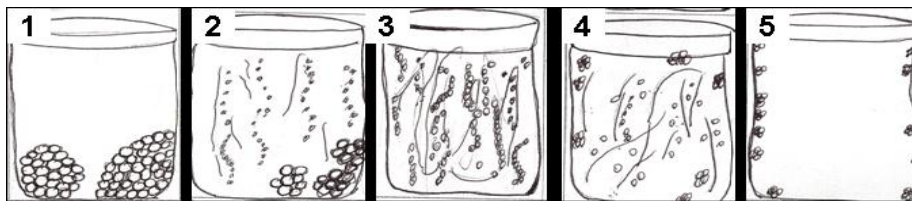
Las respuestas verbales provenientes de la última columna del cuadro propuesto en el caso de los estudiantes del grupo A constituyen ejemplos muy claros de cómo ellos apelaron a su imaginación. Transcribimos aquí algunos ejemplos:

Caso i: “Al aplicarle tanto calor las miguitas fueron desprendiéndose unas de otras cada vez más hasta haber desaparecido por completo la bolita inicial, lo que no quiere decir que las miguitas hayan desaparecido, sino que ahora se

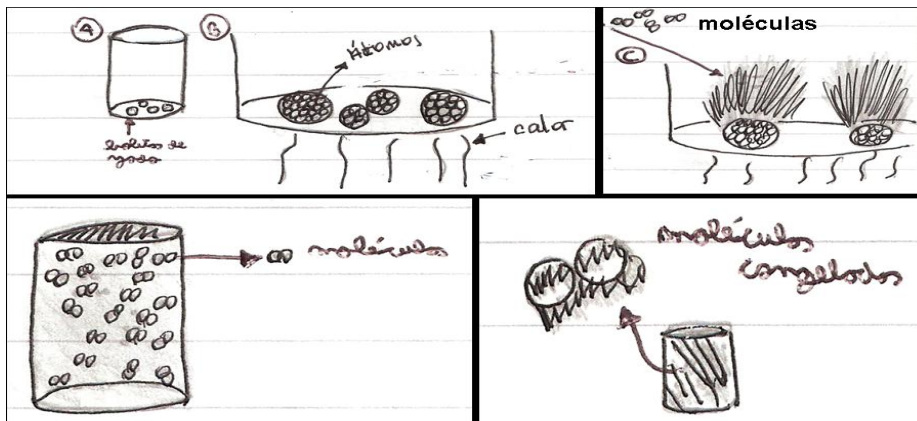
encuentran flotando en el aire que existe dentro del frasco". "Unas están colgadas del techo y otras volando".



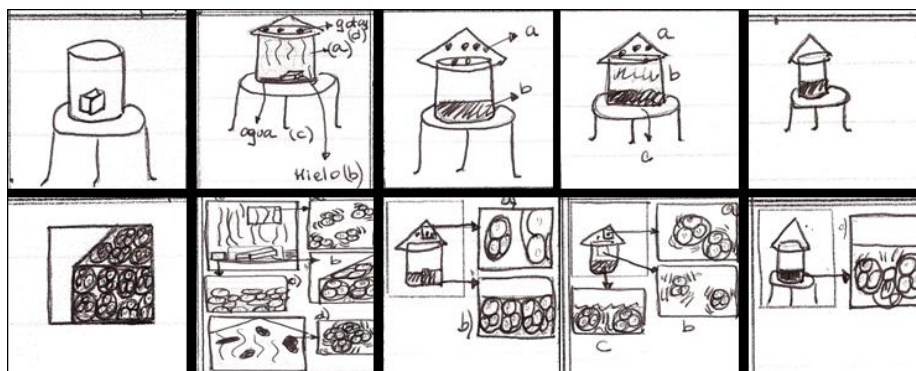
(a)- Dibujos realizados por un alumno como respuesta a la actividad 1



(b)- Dibujos realizados por un alumno como respuesta a la actividad 2



(c) Dibujos realizados por un alumno como respuesta a las actividades 1 y 2



(d) Dibujos realizados por un alumno como respuestas a la actividad 3

Figura 4.- Ejemplo de respuestas gráficas de tres integrantes del grupo A a las actividades 1, 2 y 3.

Caso ii: "Lo primero que pensé fue que las bolitas de yodo estaban formadas por átomos y que al recibir calor se disolvían y el vapor fluía. Este vapor eran grandes cantidades de moléculas que flotaban debido a que por su tamaño no tenían peso". "El vapor serían gran cantidad de moléculas de coloración violeta e invisibles a simple vista. Al enfriar el frasco creí que las moléculas se congelaban y descendían porque (al congelarse) adquirirían más peso y al ir descendiendo se unían en pequeños grupitos que eran las brillantinas". "Si está congelado tiene más peso, las moléculas se rodean de escarchita o hielo, así pesan más" (Respuesta verbal del alumno cuyos dibujos se muestran en la figura 4 c).

Luego, a partir de argumentar con su compañero, por sugerencia de la docente, agregó: "Al comparar las dos teorías (la mía y la de mi compañero) me di cuenta de que las moléculas no flotaban sino que se movían debido a la energía que les brinda el calor. Además cuando descendían no lo hacían por estar congeladas sino que lo hacían por haber perdido su temperatura, lo cual les quita energía. Además se quedaban pegadas en los bordes y la tapa del frasco debido a que el vidrio de los bordes se enfría y quedaban pegadas las moléculas. Lo mismo sucedió con la tapa, ya que el metal se enfría más rápido".

La idea de que el peso de las partículas de vapor es menor que las del sólido fue muy frecuente. Esta afirmación sumada a la idea de existencia de la fuerza de gravedad -aprendida con anterioridad en años escolares- constituyó una explicación lógica para gran parte de los estudiantes. Esto nos permite ver una necesidad de los alumnos de encontrar un motivo por el cual ocurría el cambio que estaban viendo (en el caso del alumno de la figura 4c había sido en un primer momento el poco peso y así su capacidad para "flotar" y luego la "escarcha"). Si bien sólo algunos estudiantes se expresaron con los términos de energías cinética y potencial de las moléculas (o energía total) o con energía térmica entregada al sistema, todos en sus escritos y dibujos evidenciaron haber comprendido la naturaleza discontinua de la materia y aplicaron muchos de los conceptos básicos o variables enunciados en el MCM.

A continuación se presenta una selección de respuestas a la actividad 4, bajo títulos representativos de cada analogía:

POLVO DE TIZA. "En 1 -de la figura 4(b)- diría que dentro de las bolitas iniciales de yodo hay pelotitas mucho más chiquitas, como si fueran partículas del polvo de la tiza, que no se pueden agarrar de a una. En 2 las bolitas se empiezan a desarmar por el calor, como desintegrando. En 3 el vapor "va transformándose" en cada partícula del polvo de la tiza. En 4 se empiezan a quedar quietas las partículas. Cuando aparecen las brillantinas en las paredes del frasco es como que el polvo de la tiza queda pegado a las paredes juntándose. Cada brillantina está compuesta por más partículas de tiza. Es la misma sustancia que la bolita de iodo pero repartida".

JUGADORES DE FÚTBOL. "Le pediría al amigo ciego que se imagine jugadores de fútbol. Al principio del partido están moviéndose y separados. Al perder energía se juntan, con menos movimiento porque no poseen energía

para poder moverse y correr". "Al principio (el hielo) los jugadores están sentados y juntos, sin moverse (sólido). Luego algunos empiezan a saltar y volar (gas), otros quedan sentados (sólido) y otros caminan (líquido). Después unos quedan colgados del techo (serían las gotitas de agua en la tapa del frasco), otros están volando (el vapor), otros caminan (el líquido)" (El alumno que escribió esto es el que realizó los dibujos presentados en la figura 4 d).

ARENA MOJADA, HÚMEDA, SECA. "El hielo sería la arena mojada ya que ésta se encuentra toda junta y quieta. Los granitos de arena se atraen mucho. Cuando al hielo lo expongo al calor sería como si a la arena la expusiera al calor y se comenzara a secar y a volar en el frasco (hay menos atracción). El hielo hecho agua diría que es arena húmeda y el vapor arena seca volando por el frasco (hay menos atracción)."

PLASTILINA. "Haría una bolita de plastilina de tamaño mediano y muchas chiquitas con la misma cantidad de plastilina. Se las haría tocar y le diría que la bolita grande está formada por esas bolitas muy juntas, quietas y frías. Después le diría que las bolitas empiezan a moverse a causa del calor y a separarse, pero algunas siguen quietas. Luego hay mucho calor. Se mueven todas, se separan por completo. Más tarde mientras algunas se siguen moviendo, otras comienzan a unirse nuevamente pegándose al vidrio pero de forma distinta. Al llegar a este punto juntaría las bolitas chiquitas agrupándolas en forma de triangulitos, bastoncitos, y se las haría tocar explicándole que en eso se "convirtió" la bolita inicial de tamaño mediano al enfriarse nuevamente las partículas".

PAN Y MIGUITAS DE PAN. "Le diría que se imagine una bolita de pan, a la cual la forman miles de miguitas muy pequeñas y que al aplicarle calor cada una de esas miguitas comienza a moverse y las que se encuentran más cerca del contorno de la bolita de pan comienzan a desprenderse de la misma moviéndose cada vez más intensamente. Al aplicarles tanto calor las miguitas fueron desprendiéndose cada vez más unas de otras hasta haber desaparecido la bolita. Esto no quiere decir que las miguitas hayan desaparecido sino que ahora se encuentran flotando en el aire que existe dentro del frasco. Al enfriarse el frasco vuelven a unirse las miguitas, esta vez formando "bolitas" mucho más pequeñas y de diferentes formas (las brillantinas)."

COLLAR DE PERLAS. "Le haría tocar un collar de perlas... Para explicarle el paso al vapor le diría que es como si se abriese y las pelotitas del collar saliesen volando para todos lados. Le diría (al pasar del vapor al sólido) que las bolitas se comenzaron a pegar al vidrio."

En las explicaciones verbales de la actividad 4 los estudiantes brindaron evidencias muy claras sobre sus representaciones mentales en relación a la naturaleza discontinua de la materia. Este aspecto fundamental en enseñanza de las ciencias se logró en todos los estudiantes, quienes en sus analogías comparan a las partículas con personas, chicos, hormigas, migas de pan, granos de arena, perlas, etc.

El concepto de fuerzas de interacción entre partículas también fue evidenciado por varios alumnos, aún sin llamarlo de esa forma. Por ejemplo,

un alumno expresa "al principio los chicos están quietos, sentados y juntos luego de una actividad física. Después algunos siguen estando juntos y otros se distancian unos de otros pero tomándose de la mano (*refiere al dibujo del líquido*). Así todos van distanciándose unos de otros tomándose de las manos. Más tarde los chicos se sueltan las manos y empiezan a correr (*refiere ahora al estado gaseoso de los dibujos*). Después algunos corren y otros se agarran de la mano de nuevo, pero manteniendo distancia (*refiere al dibujo de la etapa de la condensación del vapor en las paredes del frasco donde coexisten líquido y vapor*). Terminan todos tomándose de las manos" (*se refiere al estado final cuando solo ven agua líquida en el frasco a temperatura ambiente*).

El concepto de energía y de movimiento de las partículas *apareció explícito en algunos estudiantes, por ejemplo*: "al principio los chicos están quietos en el aula (*hielo*). Luego van adquiriendo energía y se separan del grupo que está quieto (*hielo*), algunos tienen más movimiento que antes (*líquido*) y otros están en constante movimiento (*vapor*). Luego están alternándose, primero están con mucho movimiento (*estado gaseoso*) y en segunda instancia chocan contra las paredes del aula, sin embargo siguen con movimiento (*estado líquido*). Se repite el proceso."

El análisis de las respuestas nos permitió evaluar cuántos estudiantes incluyeron en sus trabajos las categorías de conceptos y variables que involucra la explicación teórica del MCM. Estos resultados se analizan más adelante.

Grupo B: respuestas gráficas

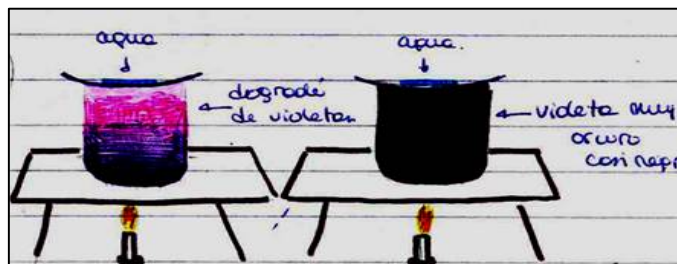
Los estudiantes del grupo B realizaron prácticamente los mismos dibujos con que fueron enseñados (ver figura 1) agregando, en general, especificaciones relativas a las experiencias realizadas, a partir del color o de explicitación de códigos sobre sus partes constituyentes. En la figura 5 se presentan ejemplos. Obsérvese que dos estudiantes cometen un error al señalar al yodo que ha sublimado como "yodo líquido" (ver figuras 5 b y c). Este tipo de error -quizás proveniente de una interferencia con conocimientos memorísticos relativos al ciclo del agua (Bekerman, 2007; Galagovsky y Bekerman, 2008)- no se observó en ningún estudiante del grupo A.

Grupo B: respuestas verbales

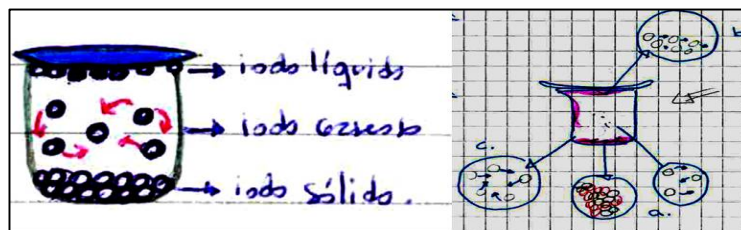
A continuación se presentan algunos ejemplos que resultan representativos dado que los estudiantes repitieron prolijamente, con mayor o menor detalle, el texto enseñado en clase: "*Se produce una sublimación cuando se aumenta la temperatura porque la energía cinética aumenta y las fuerzas de cohesión disminuyen, haciendo que las moléculas aumenten su movimiento porque se repelen. Cuando enfriamos aumenta la fuerza de cohesión de las moléculas y se solidifican de nuevo.*"

La alumna que realizó el dibujo presentado en la figura 5b donde apareció el error del yodo líquido, también lo expresó en su explicación verbal: "*Al encender el mechero, el yodo se empieza a calentar y ocurre una sublimación.*"

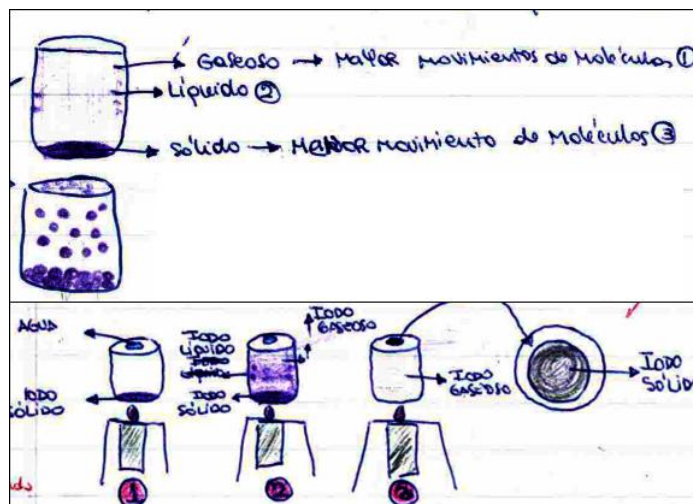
Las moléculas aumentan su energía cinética y disminuye la fuerza de cohesión entre ellas (parte a). Una vez que se transformó en gas las moléculas chocan con la tapa que está a menor temperatura. De esta manera disminuye la energía cinética produciéndose una condensación (parte b). Al transformarse en agua (refiere a un supuesto estado líquido), algunas gotas bajan hasta la base del frasco para evaporarse. Lo que ocurrió fue que al aumentar nuevamente la temperatura, aumentó la energía cinética y las moléculas se repelen otra vez (parte c). Cuando apagamos el mechero, el resto del líquido que había quedado en la tapa se solidifica. Esto ocurre porque al seguir bajando la temperatura, disminuye la energía cinética y aumenta la fuerza de cohesión entre las moléculas”.



a) Dibujos realizados en la actividad 1 por un estudiante del grupo B.



b) Dibujos realizados en actividades 1 y 2 por un estudiante del grupo B.



c) Dibujos realizados en actividades 1 y 2 por otro estudiante del grupo B.

Figura 5.- Dibujos realizados por dos estudiantes del grupo B.

Otro estudiante escribió: *“En un principio se produce el pasaje de sólido a gaseoso llamado sublimación. Esto se da porque al aumentar la temperatura aumenta la energía cinética y es mayor el movimiento de las moléculas. El gas va a ocupar todo el volumen disponible. Después se produce el pasaje de gas a líquido en donde se forman gotitas de yodo en la tapa. Esto se da porque el gas al no haber más espacio para seguir expandiéndose se concentra en el vidrio, entonces disminuye el movimiento de las moléculas y aumentan las fuerzas de cohesión. Finalmente nos encontramos con el sólido porque al apagar el mechero disminuye la temperatura y por lo tanto aumentan las fuerzas de cohesión y es menor el movimiento de las moléculas”*. Puede apreciarse que si bien este estudiante utilizó una terminología correcta, estableció una correlación causa-efecto errónea para explicar la formación del sólido en las paredes del vidrio.

Análisis de resultados

El cuarto objetivo específico del presente trabajo consistió en comparar las habilidades de modelización entre ambos grupos de estudiantes habiendo entre ellos una diferencia fundamental: al grupo contraste (grupo B) se le había explicado el MCM, verbal y gráficamente, mientras, por el contrario, los estudiantes del grupo A debieron hacer uso de sus razonamientos, creatividad y conocimientos previos aprendidos fuera del control de la presente enseñanza. Esta situación bien diferente exigió del docente generar un clima previo de mucha confianza en el alumnado, de tal forma que ellos a la hora de expresarse no tuvieran prejuicios paralizantes por miedo a equivocarse o a ser sancionado -tanto por el docente como por comentarios burlones de sus mismos compañeros-.

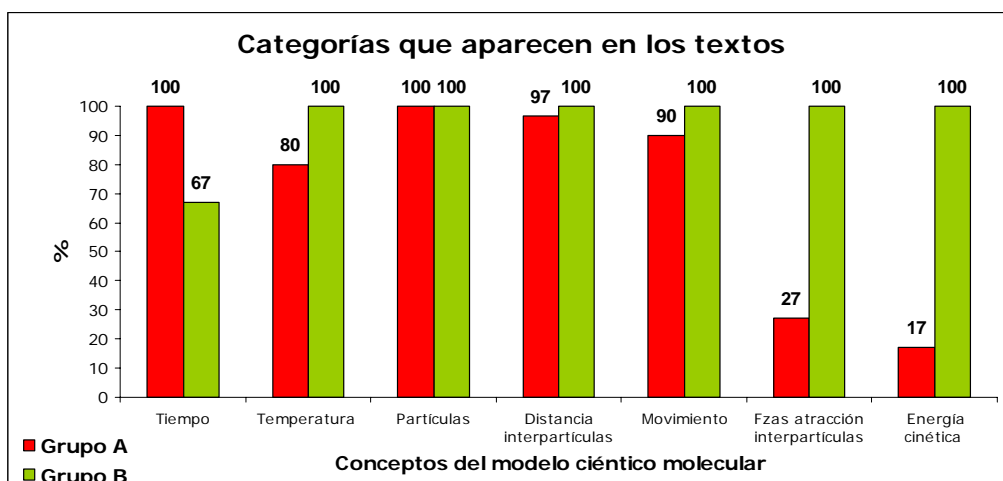
Para realizar el análisis comparativo entre los grupos se identificaron separadamente en los textos (respuestas verbales) y en los dibujos (respuestas gráficas) entregados por cada estudiante para las actividades 1, 2 y 3 la existencia explícita de los conceptos y variables involucrados en la explicación del MCM, aunque identificados dentro del lenguaje cotidiano con el cual ellos se expresaron; luego, este valor se normalizó porcentualmente en función del número de integrantes por grupo y se construyeron los diagramas de barras de la figuras 6 a y b, respectivamente.

El análisis de las respuestas nos permite concluir que no hubo diferencias entre los grupos para:

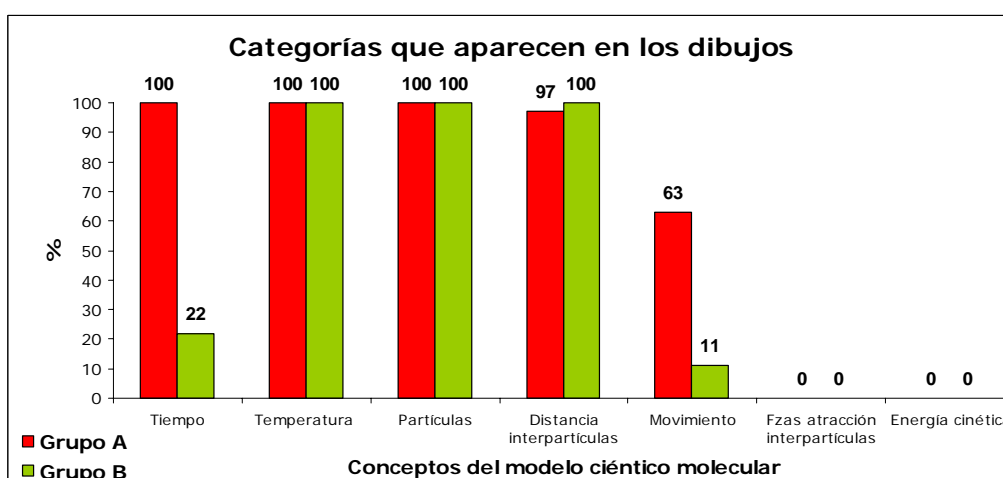
- a) reconocer que la materia es discontinua y está formada por partículas, aunque parezca un sólido macizo;
- b) establecer que la separación de las partículas varía según el estado de agregación;
- c) reconocer que la “temperatura” de esa materia está involucrada en sus cambios de estado.

Las diferencias principales se encontraron en los siguientes aspectos:

a) La noción de secuencia temporal de acontecimientos surgió principalmente en el grupo A tanto en las respuestas verbales al utilizar palabras como "primero", "luego", etc., como en los dibujos secuenciados. Por el contrario, una proporción muy baja de integrantes del grupo B hizo mención al concepto de temporalidad de acontecimientos (la explicación del docente para el grupo B no había incluido este concepto).



(a) Análisis comparativo de los conceptos y variables del MCM que aparecieron en los textos explicativos de los estudiantes de los grupos A y B.



(b) Análisis comparativo de los conceptos y variables del MCM que aparecieron en los dibujos explicativos de los estudiantes de los grupos A y B.

Figura 6.- Análisis comparativo de los conceptos y variables del MCM que aparecieron en los textos explicativos de los estudiantes de los grupos A y B.

b) Las fuerzas interpartículas y la energía cinética como tales -con estas palabras exactamente- surgieron en mayor proporción en las explicaciones verbales del grupo B, con formatos de repetición de frases presentes en la

explicación del MCM recibida previamente. En el grupo A, en cambio, aparecen ideas sobre estos conceptos que luego se confirman en las analogías dadas al "amigo ciego", pero que no aparecen con el vocabulario preciso. Estos estudiantes han evidenciado en sus escritos la construcción mental de estos conceptos.

c) El movimiento de las partículas apareció más en los dibujos del grupo A. Notoriamente los estudiantes de este grupo utilizaron diversos códigos gráficos para referirse a dicho movimiento, mientras que muy pocos estudiantes del grupo contraste (B) agregaron este tipo de códigos a sus explicaciones (ver figura 5b).

Los estudiantes del grupo B mostraron tanto en sus explicaciones verbales como en sus dibujos una tendencia fuerte a repetir lo aprendido. No se plantearon cuestiones conflictivas durante la experiencia ni presentaron dudas sobre las mismas, dado que se trataba para ellos de experiencias confirmatorias de la teoría. Informalmente, por sus actitudes y preguntas al docente frente a la resolución de los cuestionarios evidenciaban querer recordar correctamente la teoría recibida. Por ejemplo, dudaban al escribir "si sube (o baja) la temperatura, entonces sube (o baja) la energía cinética, entonces aumenta (o disminuye) el movimiento de las partículas, por eso estas se separan (o se juntan). Las fuerzas de atracción bajan (o suben).

"La actividad 4 merece un análisis especial. En primer lugar vale reflexionar sobre el hecho de que la consigna les exigía a los estudiantes realizar sus analogías con un "sistema" que sea siempre el mismo, ya que ésta es la base epistemológica del concepto de modelización.

La primera tendencia de los alumnos era tomar para cada momento de la experiencia y/o para cada experiencia una analogía diferente, es decir, a dar explicaciones para el amigo ciego no vinculadas entre sí. La docente tuvo que indicar permanentemente que debían mantener siempre "el mismo sistema" y en base a éste relatar cómo se explicaban las diferentes experiencias o momentos. Ella señaló específicamente que "si se trata de jugadores de fútbol, siempre deben ser jugadores; si son granitos de arena, siempre tienen que explicar todo lo demás con granitos de arena; etc. Siempre deben mantener la analogía".

Esta situación podría estar señalando la dificultad de los estudiantes a entender la secuencia temporal de fenómenos dentro de cada experiencia como un proceso dinámico, con eventos vinculados entre sí. La exigencia de mantener "el mismo sistema" elegido para todas las explicaciones les permitió a los estudiantes entender -sobre la analogía- qué significa dar consistencia a una explicación en base a un modelo, utilizarlo de modo coherente a lo largo de toda la experiencia del yodo y luego ajustarlo para la experiencia con el agua.

En la tabla 2 se vuelcan correlaciones entre los seis ejemplos más representativos de las respuestas de estudiantes del grupo A y seis conceptos del MCM que aparecieron en dichas explicaciones verbales.

Analogía	Partícula	Sólido	Vapor	Líquido	Fuerzas inter-partículas	Energía cinética
Jugadores de fútbol	Jugadores	Jugadores quietos y de la mano	Jugadores separados, saltando	Jugadores caminando tomados de la mano	Agarrarse de las manos o soltarse	Comida: energía para moverse
Arena	Granitos de arena	Arena mojada	Arena seca volando	Arena Húmeda	Humedad	-
Tiza	Partículas de tiza	Tiza	Polvo de tiza volando	Polvo de tiza pegado en la palma de la mano	-	-
Collar de perlas	Perlas	Collar	Collar desarmado	-	Hilo que une las perlas	-
Plastilina	Esferitas de plastilina.	Esfera de muchas esferitas pequeñas	Esferitas de plastilina sueltas	-	-	-
Pan	Migas de pan	Pan	Miguitas volando	-	-	-

Tabla 2.- Explicaciones para el amigo ciego dada por algunos estudiantes del grupo A en la actividad 4 en relación a conceptos del MCM.

Del análisis realizado para la confección de la tabla 2 se concluye que, por un lado, resultó más sencillo para los estudiantes hacer analogías con granitos de arena, miga de pan, polvo de tiza, esferitas de plastilina o personas en grupo, etc., para representar los sustantivos concretos (y observables) involucrados en el MCM, que para los elementos abstractos como las fuerzas interpartículas o la energía cinética. Este último concepto solo fue analogado con partículas antropomórficas en las que el alimento fue considerado como la fuente del movimiento y, por lo tanto de energía cinética. Las fuerzas entre partículas también resultaron más evidentes en las analogías antropomórficas, como personas tomadas de las manos; y la variación en energía cinética como individuos corriendo (para analogar el vapor), o con un gran cansancio con escaso o nada de movimiento (para analogar a los sólidos y líquidos), respectivamente. Estos resultados reafirman la capacidad de los estudiantes para elaborar analogías personales, analizada en otras investigaciones publicadas (Oliva, 2006).

Por otro lado, la consigna solicitando una explicación para un "amigo ciego" posibilita entender la lógica de los estudiantes. Al formular ellos sus propias analogías para comunicar sus representaciones mentales, nos brindaron evidencias sobre que la mayoría de los estudiantes del grupo A organizó algún "modelo mental", explicativo, funcional, una estructura conceptual común,

aplicable a diferentes situaciones concretas, en virtud de sus habilidades cognitivas de pensamiento analógico (Espíndola y Cappannini, 2006).

Finalmente, cabe aclarar que la mayoría de los métodos tradicionales de evaluación -en los que se valora la correcta expresión verbal y gráfica en las respuestas- podrían dar cuenta de un aprendizaje "aparentemente significativo" cuando, en realidad, los estudiantes sólo estuvieran reproduciendo memorísticamente en forma correcta la información científica recibida previamente. Evidentemente, la forma de evaluar el aprendizaje determina también en una investigación educativa, las conclusiones a las que se arribe. En este trabajo ponemos en evidencia que un "verdadero" aprendizaje -llámese significativo, sustentable, constructivista, etc.- no necesariamente debería estar evidenciado exclusivamente por el manejo correcto del lenguaje técnico del tema, desde un inicio, por los estudiantes noveles. Adquirir un correcto vocabulario en estudiantes escolarizados es una aprendizaje posterior -o, al menos no previo- al de construir los conceptos pertinentes en sus mentes. Evidentemente, los mecanismos de aprendizaje del vocabulario científico deberían diferenciarse del mecanismo empelado por los niños pequeños --que recién están adquiriendo su primer vocabulario-- y que se basa principalmente en la repetición (Blakemore y Frith, 2007).

El análisis de los resultados presentados en la figura 6 del presente trabajo revela la necesidad de discriminar el concepto de modelo mental en expertos y novatos. Es decir, cuando el docente no presentó la información científica sobre el MCM (grupo A), los estudiantes pudieron modelar una interpretación submicroscópica para los fenómenos macroscópicos. Y tuvimos evidencias contundentes de ello. Por otro lado, los estudiantes del grupo B mayoritariamente repitieron la información recibida; esto no nos garantiza que hayan construido modelos explicativos en sus mentes, pero, evidentemente, sus respuestas pueden considerarse como aquéllas que los docentes quieren escuchar.

Conclusiones

Para un aprendizaje sustentable (Galagovsky, 2004 a y b) es óptimo que los estudiantes realicen actividades de modelización. Un modelo les permite explicar fenómenos y estas explicaciones deben poder aplicarse a nuevos fenómenos; y, si esto no fuera factible, ellos deberían adaptar sus modelos, en forma iterativa (similarmente a como trabajan los científicos).

En este trabajo se pone en evidencia que los estudiantes del grupo A, que no habían recibido información teórica previa sobre el MCM, generaron respuestas muy adecuadas sobre los conceptos y variables subyacentes al MCM; por lo tanto, modelaron. Si bien para el grupo B se obtuvieron respuestas correctas desde la expresión verbal y gráfica, algunos errores y fundamentalmente las actitudes de los estudiantes --que no forman parte de mediciones cuantitativas en este trabajo- inducen a detectar en ellos un aprendizaje preferentemente de tipo memorístico.

Sugerimos que los docentes tomemos conciencia sobre que:

d) La simple exposición de información generalmente no logra que los estudiantes la transformen en conocimiento.

e) No se corresponde más información presentada a los estudiantes con aumento de sus conocimientos; muchas veces ocurre lo contrario.

f) El conocimiento que maneja un experto docente no se transmite directamente desde su cabeza a la del estudiante.

La conclusión principal de este trabajo consiste, por lo tanto, en remarcar la importancia que tiene el momento en que se presenta la información científica dentro del esquema de una secuencia didáctica. La información erudita debería presentarse después de haber preparado la mente de los estudiantes para recibirla. La diferenciación por parte de los docentes entre ideas previas, conceptos inclusores y conceptos sostén (Galagovsky, 2004 a y b) es fundamental para dar valor a los datos recogidos en el presente estudio. El análisis de los resultados destacados en la figura 6 da cuenta de que un aprendizaje sustentable es siempre significativo, dado que los estudiantes logran construir en sus mentes conceptos que, articuladamente, funcionan como un modelo.

Las fallas en la actual motivación de los estudiantes por aprender ciencias (Osborne y Dillon, 2008) bien podrían estar fundadas en fallas en la comunicación: los docentes queremos enseñar algo que los estudiantes no están motivados a aprender; agregado a esto, utilizamos una cantidad de lenguajes para ellos faltos de significación; y, además, les presentamos información cerrada, inmodificable, la que -con suerte- podrían emplear en comprobar fenómenos. La idea de la secuencia innovadora es presentar experiencias que puedan ser explicadas por los estudiantes desde sus conocimientos cotidianos, su creatividad e intuición. Luego, gran parte de sus propuestas tendrán una correspondencia con la información científica a ser aprendida.

La comunicación comprensiva entre individuos puede lograrse cuando se comparten modelos mentales sobre determinado fenómeno. El presente trabajo muestra cómo el orden de presentación didáctica de las consignas e intervenciones informativas del docente puede alterar el producto de aprendizaje. Particularmente, hacemos hincapié en que la habilidad de los estudiantes para modelar a partir de tener que crear explicaciones submicroscópicas sobre fenómenos macroscópicos atractivos es posible. Simultáneamente, recomendamos que para el desarrollo de esta habilidad es imprescindible que el docente adopte una actitud por un lado respetuosa del tiempo de clase que demanda a los estudiantes ser creativos y, por otro lado, tolerante, frente a las expresiones con que naturalmente se expresan los novatos que provienen de sus contextos cotidianos y no tienen la precisión de los lenguajes científicos, pero que pueden estar evidenciando la construcción efectiva de conceptos sostén.

Referencias bibliográficas

Adúriz Bravo, A.; Garófalo, J.; Greco, M. y Galagovsky, L. (2005). Modelo Didáctico Analógico. Marco Teórico y Ejemplos. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra. VII Congreso.

Blakemore, A. J. y Frith, U. (2007). *Cómo aprende el cerebro. Las claves para la educación*. Barcelona: Editorial Ariel.

Bekerman, D. y Galagovsky, L. (2005). Tema soluciones: detección de dificultades en el procesamiento de información verbal y gráfica. *IV Jornadas de Enseñanza Universitaria y pre-universitaria de la Química*, UNAM, Mérida, México. Noviembre 14-17.

Bekerman, D. (2007). La utilización de la imagen como instrumento de enseñanza y aprendizaje de la Química Orgánica. Tesis Doctoral, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires.

Bodner M.G. y Domin, D.S. (2000). Mental models: The role of representations in problem solving in Chemistry. *University Chemistry Education*, 4 (1), 24-30.

Bruning, R.H., Schraw, G.J., Ronning, R.R. (2002). *Psicología cognitiva e instrucción*. Madrid: Editorial Alianza.

Chomsky, N. (1971). *El lenguaje y el entendimiento*. Barcelona: Editorial Seix Barral.

Climent, S. (1999) *Individuación e información Parte-Todo. Representación para el procesamiento computacional del lenguaje*. España: Estudios de Lingüística Española (ELiEs).

De Saussure, F. (1964). *Course in General Linguistics*. London: Peter Owen Editor.

Deledalle, G. (2001). *Charles S. Peirce's Philosophy of Signs. Essays in Comparative Semiotics*. USA: Indiana University Press.

Driver, R.; Guesne E. y Tiberghien A. (1992). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. España: Ediciones Morata.

Espíndola C. y Cappannini O. (2006). ¿Cómo usan los alumnos de EGB los modelos de estado de agregación de la materia en la interpretación de un fenómeno de mezcla? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 5 (3), 416-429. Fernández Prini, R.; Marceca E.; Corti H. (2005). *Materia y Molécula*. Buenos Aires: Editorial Eudeba.

Galagovsky, L. (2004a). Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte 1: El Modelo Teórico. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), 229-240.

Galagovsky, L. (2004b). Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte 2: Derivaciones Comunicacionales y Didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(3), 349-364.

Galagovsky, L. (2005). Modelo de Aprendizaje Cognitivo Sustentable como marco teórico para el Modelo Didáctico Analógico. Ponencia en Simposio sobre Procesos comunicativos en la enseñanza y difusión de las ciencias, VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, 7-11 de Setiembre, Granada, España.

Galagovsky L. (2007a). Enseñanza vs aprendizaje de las Ciencias Naturales: El papel de los lenguajes y su impacto en la comunicación entre estudiantes y docentes. *Revista Episteme, Tecné y Didaxis*, número extra, 66-87.

Galagovsky, L. (2007b) ¿Es modelizar en química sinónimo de usar modelos? Conferencia semiplenaria. V Jornadas Internacionales para la Enseñanza Preuniversitaria y Universitaria de la Química, Santiago de Chile, Chile. Noviembre.

Galagovsky, L. (2008). ¿Qué tienen de "naturales" las Ciencias Naturales? *Las Ciencias Naturales y su Enseñanza*. Buenos Aires: Editorial Biblos.

Galagovsky, L. y Bekerman, D. (2008). Un nuevo marco teórico para analizar errores de los estudiantes. Parte 1: el caso del lenguaje de fórmulas químicas. Enviado a *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*.

Galagovsky, L.; Bonán, L. y Adúriz Bravo, A. (1998). Problemas con el lenguaje científico en el aula. Un análisis desde la observación de clases de Ciencias Naturales. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2), 315-321.

Galagovsky, L.; Di Giacomo, M. A. y Castelo, V. (2008). Modelos vs dibujos: el caso de la enseñanza de fuerzas intermoleculares. Enviado a *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*.

Galagovsky, L.; Rodríguez, M.; Stamati, N.; Morales, L. (2003) Representaciones Mentales, Lenguajes y Códigos en la Enseñanza de Ciencias Naturales. Un Ejemplo para el Aprendizaje del Concepto Reacción Química a partir del Concepto de Mezcla. *Enseñanza de las Ciencias* 21(1), 107-121.

Gellon G. (2007). *Había una vez el átomo. O cómo los científicos imaginan lo invisible*. Buenos Aires: Editorial Siglo XXI.

Giere, R. (1992). *La explicación de la ciencia*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (Edición original de 1988).

Jakobson, R. (1975). *Ensayos de lingüística general*. Barcelona: Editorial Seix Barral.

Johnstone A.H. (1991). Why is science difficult to learn?. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75-83.

Johnson-Laird, P. (1996). 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* (pp. 90-126). New York: Oxford University Press.

Justi, R. and Gilbert. J. (2002). Models and modelling in Chemical Education. En K.J. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. Treagust y J.H. Van Drien (Eds.),

Chemical Education: Towards Research – bases Practice (pp.47-68). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Lemke, J. (1997). *Aprender a hablar ciencia*. Barcelona: Editorial Paidós.

Moreira, M.A. (1996). Modelos Mentais. *Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias*, 1(3), 1-47. En: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>

Níaz, M. (2008). *Teaching General Chemistry: A History and Philosophy of Science Approach*. New York: Nova Science Publishers.

Novak, J. D. (2001). *Conocimiento y Aprendizaje. Los mapas conceptuales como herramientas facilitadoras para escuelas y empresas*. Madrid: Editorial Alianza.

Osborne, J. y Dillon, J. (2008). *Science education in Europe: critical reflexions. A report to the Nuffield Foundation*. King`s Collage: London.

Oliva, J. (2004). El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3, 3. En <http://www.saum.uvigo.es/reec>

Oliva, J.M. (2006). Actividades para la enseñanza-aprendizaje de la química a través de analogías. *Revista Eureka Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(1), 104-114.

Posner, G.; Strike, K.; Hewson, P. y Gertzog, W. (1982). Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science education*, 66 (2), 211-227.

Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. (1998). El aprendizaje de conceptos científicos: del aprendizaje significativo al cambio conceptual. En J. I. Pozo, M. A. Gómez Crespo (Ed.), *Aprender y enseñar ciencia* (pp. 84-127). Madrid: Ediciones Morata.

Pozo, J.I. (2005). Ni cambio ni conceptual: la reconstrucción del conocimiento científico como un cambio representacional. *Seminario Transformaciones Representacionales y Conceptuales*, Universidad Autónoma de Madrid, Universidad de México, Madrid, 12 -13 de Septiembre.

Solaz-Portolés, J.J. y Sanjosé López, V. (2007). Resolución de problemas, modelos mentales e instrucción. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6, 1: 70-89. En <http://www.saum.uvigo.es/reec>

Talanquer, V. (2006). Commonsense Chemistry: A Model for Understanding Students' Alternative Conceptions. *Journal of Chemical Education*, 85 (5), 811-816.