

Modelos vs. dibujos: el caso de la enseñanza de las fuerzas intermoleculares

Lydia Galagovsky, María Angélica Di Giacomo y Verónica Castelo

Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA. Buenos Aires, Argentina. Email: lyrgala@qo.fcen.uba.ar

Resumen: En el presente trabajo se analizan las explicaciones verbales y gráficas confeccionadas por docentes para explicar fenómenos de solubilidad, inmiscibilidad y formación de una emulsión con mezclas de agua, alcohol y aceite. El análisis permite considerar la complejidad de los lenguajes expertos como fuente de obstáculos epistemológicos en la comunicación entre docentes y estudiantes. Finalmente, se propone un marco teórico en el que se hace una distinción ontológica entre los conceptos de "modelos mentales", "modelos explícitos" y "dibujos".

En este trabajo se postula considerar a los dibujos como "representaciones concretas" del lenguaje gráfico, en oposición a "representaciones instrumentales" que se obtienen por señales provenientes de equipamiento o dispositivos científicos. Se marca también una diferencia fundamental entre "modelo mental" y "modelo explícito": se propone que un modelo mental es un grupo de ideas armonizadas en la mente del experto; mientras que el modelo explícito es una porción del discurso erudito expresada complementariamente en diferentes lenguajes científicos.

Palabras clave: Fuerzas intermoleculares, modelo mental, modelo explícito, lenguaje gráfico

Title: Models vs. drawings: the case of teaching intermolecular forces.

Abstract: In the present article science teachers' verbal and graphical explanations involving intermolecular forces on solubility, immiscibility and emulsion formation with water, alcohol and oil are analyzed. Results show the importance of considering the complexity of expert languages as a source of obstacles in communication between science teachers and students. Finally, theoretical considerations lead to consider an ontological distinction among "mental model", "explicit model" and "scientific drawing".

In this work, drawings are related to "concrete representations" in graphical language, in opposition to those "instrumental representations" obtained by signals from any scientific equipment or device. A fundamental difference between "mental model" and "explicit model" is also postulated: mental models are groups of scientific ideas harmonized in the experts' minds; explicit models are expressions displayed through different expert languages comprised within the scientific discourse.

Keywords: intermolecular forces, mental model, explicit model, graphical language

Introducción

La palabra "modelo" tiene diversas significaciones en el lenguaje natural. Al ser recuperada por el lenguaje científico su definición suele ser más específica (Estany, 1993); sin embargo, en situaciones de enseñanza esta palabra vuelve a recuperar su polisemia. Particularmente, en enseñanza de las ciencias experimentales, los docentes suelen hablar de modelos refiriéndose a formulismos matemáticos, a maquetas (ejemplo, el modelo de ADN de Watson y Crick), a representaciones tridimensionales (ejemplo, modelos moleculares), a dibujos o esquemas simplificados (ejemplo, el modelo de célula); a casos paradigmáticos (ejemplo, cloruro de sodio como modelo de sustancia iónica), etc. Una revisión bibliográfica evidencia una amplia variedad de autores que argumentan sobre el término "modelo"; desde esta situación es importante aceptar lo que señala Estany (1993): "(...) *hay una norma clara referente a la utilización del término "modelo", a saber: no utilizarla nunca sin antes delimitar en qué sentido se utiliza.*"

El presente trabajo reporta una indagación llevada a cabo con docentes de nivel medio y universitario que permitió tomar conciencia sobre la necesidad de discriminar conceptualmente entre los términos "modelo" y "dibujo". Los docentes participaron de un taller en el que tenían que expresar modelos explicativos submicroscópicos sobre fenómenos macroscópicos de solubilidad, insolubilidad, y formación de una emulsión con agua, alcohol y aceite. El objetivo de ese taller era llevar a los participantes a reflexionar sobre la dificultad de la construcción de modelos explicativos sobre fuerzas intermoleculares y, además, de las complicaciones derivadas de la expresión gráfica de tales modelos.

El análisis de los resultados obtenidos durante el taller, así como el relevamiento de gráficos presentes en libros de texto nos ha permitido poner en evidencia que el caso del modelo de fuerzas intermoleculares (MFI) resulta paradigmático, pues con él mostramos simultáneamente la ambigüedad de la simbología consensuada en los dibujos de textos científicos y la complejidad conceptual de las descripciones verbales acompañantes. Ambos aspectos de las explicaciones, realizadas en lenguaje gráfico y verbal respectivamente, permitieron definir a los dibujos como la parte gráfica que representa, en forma simplificada y concreta, algunos conceptos abstractos y sumamente complejos de cualquier modelo científico. Esta categorización nos ha llevado, consecuentemente, a diferenciar el concepto de modelo mental experto del de modelo explícito, según su cualidad de implícito o no.

La polisemia del término "MODELO"

Para Bunge (1976) "*un modelo es una construcción imaginaria de un (unos) objeto(s) o proceso(s) que reemplaza a un aspecto de la realidad a fin de poder efectuar un estudio teórico por medio de las leyes y teorías usuales.*" Entonces, según esta visión, los modelos serían, a la vez, construcciones mentales y dispositivos prácticos aplicables a la realidad.

El término "modelo mental" se originó en la década de 1980 en el ámbito de la Ciencia Cognitiva, y más particularmente, en el de la Inteligencia Artificial, para intentar subsanar ciertas limitaciones que presentaba la Teoría de los Esquemas (Rumelhart y Ortony, 1977) en sus diversos intentos de modelar el pensamiento de sentido común (Gutiérrez, 2005).

Según Johnson-Laird (1996) desde la psicología cognitiva, los humanos no conocemos directamente "la realidad", sino que la reconstruimos 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 verbalmente o perceptibles, 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. Los modelos mentales se forman en la interacción con el medio y con los otros, poseen poder predictivo y explicativo.

Según Moreira y colaboradores (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 construidos dentro del campo de conocimientos de una disciplina. Estos autores también señalan que los "modelos conceptuales" deben ser considerados como *"aquellos diseñados, por científicos, ingenieros, profesores para facilitar la comprensión y enseñanza de sistemas físicos, o estados de cosas físicos, o fenómenos naturales"*. Según estos autores, los modelos conceptuales serían herramientas para el entendimiento y/o para la enseñanza de sistemas físicos, y también representaciones necesariamente compartidas por una determinada comunidad, consistentes con el conocimiento científico que esa comunidad posee. Estas representaciones tienen la cualidad de ser externas y, por lo tanto, se materializan en forma de formulaciones matemáticas, verbales o pictóricas, de analogías o de artefactos materiales.

Desde estos enfoques puede asumirse que todo sujeto construye modelos mentales y que ellos son los que le permitirían operar dentro de cada ámbito de su desempeño. En particular, en el ámbito de las ciencias constituirían modelos de trabajo. Así mismo, un modelo conceptual sería la "materialización" de un modelo mental.

Moreira y colaboradores (1996) realizaron una interesante investigación respecto de la diferencia entre modelos mentales y modelos conceptuales: en entrevistas hechas con físicos en actividad, encontraron que éstos utilizaban distintos modelos mentales a la hora de comprender fenómenos relacionados con el campo electromagnético, pensándolo como deformación geométrica, como un "gas con flechitas" o a partir de elementos generadores (cargas y dipolos magnéticos). Estos modelos les eran heurísticamente válidos para comprender el campo electromagnético, aunque todos recurrían al modelo conceptual científicamente compartido (las ecuaciones de Maxwell) cuando lo necesitaban formalizar, para presentar resultados de sus investigaciones, o para enseñar. En sus conclusiones estos autores sugieren que el modelo conceptual es un instrumento de enseñanza pero el instrumento de aprendizaje sería el modelo mental. Los autores señalan que el modelo mental podría ser muy semejante al modelo conceptual, aunque no necesariamente, pues la

función del modelo mental sería sólo la de permitir a su constructor dar significado al modelo conceptual que se le enseña y, por ende, al sistema físico modelado.

Justi y Gilbert (2002) afirman que: *"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 sub-microscópico de Johnstone (1993)-- 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 son capaces de transformar modelos expresados en un modo de representación, a otros modos equivalentes."* Desde este enfoque, los modelos se aplican a fenómenos observables y/o a ideas tanto al nivel macroscópico (perceptible mediante los sentidos) como submicroscópico (formado por entidades no perceptibles directamente por los sentidos); son analogías; pueden traducirse de un modo de representación a otro y cada tipo de representación utiliza símbolos especiales.

Como puede observarse, diferentes autores presentan diferencias sustanciales para caracterizar el concepto de "modelo". Una primera tensión remite a la necesidad de definir si el "modelo" es una proyección de una idea científica en un objeto, o, por el contrario, si el modelo es la idea científica misma (Estany, 1993). Además, Gutiérrez (2005) afirma que la polisemia del concepto de "modelo mental" está actuando como un obstáculo en la actividad docente, dado que hace imposible la convergencia, la comunicación clara, la comparación, la discusión y la evaluación de resultados provenientes de las distintas investigaciones en didáctica de las ciencias.

Los procesos mentales que permiten la creación de modelos son de tal importancia en la enseñanza de ciencias naturales que, evidentemente, toda investigación que reflexione sobre esta polisemia seguramente aportará claridad a quienes desarrollamos la didáctica de las ciencias como investigadores o como docentes frente a alumnos.

En el presente trabajo consideramos los resultados de la experiencia de taller realizada con docentes participantes a un taller dentro de las XIII Reunión de Educadores en la Química, en la ciudad de Rosario, Argentina (2006) y proponemos tres cuestiones fundamentales para el trabajo didáctico en el aula:

a) Una discriminación del concepto "modelo" teniendo en cuenta los actores que lo crean o utilizan (científicos, docentes, alumnos) y su carácter mental o explícito.

b) Una diferenciación del concepto de recursos didácticos que permite recontextualizar el término "dibujo" como un ejemplo más dentro de la gama que ofrece el lenguaje gráfico con el que se describe la información científica.

c) Una análisis de la información científica en función de los múltiples lenguajes utilizados para comunicarla (Galagovsky et al., 2003).

Experiencia del taller con docentes sobre modelo de fuerzas intermoleculares

Enseñanza del modelo de fuerzas intermoleculares (MFI)

El MFI es fundamental para la enseñanza de las cualidades físico-químicas de la materia. Comprender cómo los científicos racionalizan explicaciones sobre los estados de agregación y sus cambios, las relaciones de solubilidad, insolubilidad, miscibilidad parcial, etc., es la base para entender las propiedades de muchos de los materiales que nos rodean y para poder operar sobre ellos (mediante extracciones, recristalizaciones, destilaciones, cromatografías, etc.).

Tradicionalmente, en la escuela secundaria se llega a la enseñanza del MFI luego de exponer la estructura submicroscópica de la materia, de haber enseñado los conceptos de tabla periódica, unión química y sus representaciones por medio de estructuras de Lewis, el concepto de polaridad a partir de la geometría predicha por el modelo de repulsión de los pares de electrones del nivel de valencia (VSEPR), y la clasificación de fuerzas intermoleculares por interacción de cargas netas o diferentes tipos de dipolos.

Cuando se llega al tema "soluciones" se presentan las fuerzas intermoleculares como responsables de los fenómenos de solubilidad, con argumentaciones que especifican los diferentes tipos de dipolos. Paralelamente, numerosas investigaciones muestran que existen fallas en la comprensión de los eventos submicroscópicos que ocurren en las soluciones; es decir, errores en los conceptos involucrados en el MFI (Nappa, 2005; Bekerman, 2007). Un ejemplo muy conocido es la generalización que suelen efectuar los estudiantes noveles cuando al referirse a la unión por puente hidrógeno aseguran que "todo compuesto con hidrógeno puede formar uniones puente hidrógeno" (Talanquer, 2006; Bekerman, 2007).

La propuesta que nos ocupa pretende que sería posible enseñar el MFI tempranamente en el currículo, simplemente tratando de explicar qué sucedería submicroscópicamente al observar comparativamente tres fenómenos macroscópicos: la solubilidad del agua y el etanol, la insolubilidad del agua y el aceite y la solubilidad parcial y emulsificación de la mezcla agua, etanol, aceite (ver Figura 1). La idea que subyace a esta visión es que podría enseñarse química desde la interpretación de fenómenos con materiales sencillos, de forma motivante para los estudiantes (ver tabla 1 y figura 1), sin necesidad de forzar previamente la "comprensión" de conceptos tan abstractos como los mencionados en los párrafos anteriores.

Las actividades del taller con docentes

Los resultados que relatamos a continuación surgieron con los 21 docentes de química que enseñan el tema de MFI en diferentes niveles educativos y que participaron en un taller conducido por las autoras.

A través de actividades se les solicitaba a los participantes generar un modelo explicativo-predictivo de tres eventos sencillos: la mezcla con

agitación y luego reposo de los sistemas materiales agua-alcohol, agua-aceite, y agua-aceite-alcohol.

Las consignas del taller fueron:

1- Realizar los tres experimentos de la tabla 1, agregando de a uno los componentes, agitando y considerando el tiempo de observación tan largo como fuere necesario.

2- Responder en forma individual: ¿Si Ud. fuera un estudiante no experto en química cómo explicaría lo ocurrido en los distintos tubos a nivel submicroscópico? Utilice descripciones verbales (escríbalas) y dibujos explicativos.

3- En pequeños grupos discutir las respuestas individuales, teniendo en cuenta consensos y disensos. Preparar un panel con dibujos y explicaciones verbales, para luego informar al grupo clase.

| Experimento | Agua (5 ml) | Alcohol (5 ml) | Aceite (5 ml) | Agitar (10 seg) | Dejar reposar y observar |
|-------------|-------------|----------------|---------------|-----------------|--------------------------|
| 1 | X | X | | X | --- |
| 2 | X | | X | X | --- |
| 3 | X | X | X | X | --- |

Tabla 1.- Secuencia de experimentos sobre los cuales se debían generar explicaciones.

La figura 1 muestra el aspecto de los tubos de ensayo luego de agitar y dejar en reposo el sistema unos minutos.

Los docentes formaron 4 grupos para responder a las actividades.



Figura 1.- Aspecto de los sistemas materiales de la tabla 1, luego de agitación y posterior reposo.

La pregunta del por qué sucede lo que se observa en esos sistemas es un conflicto cognitivo que provocaría la expresión de los conceptos sostén presentes en la estructura cognitiva de los docentes (Galagovsky, 2004a,b). Sus explicaciones verbales y gráficas serían consideradas como una expresión de sus modelos mentales operativos. La idea de solicitarles que

se pusieran en lugar de alumnos era liberarlos de tener que dar explicaciones eruditas e inducirlos a analizar los experimentos desde una lógica que se focalizara en las observaciones macroscópicas.

Expectativas de modelización desde un abordaje didáctico innovador para la enseñanza del MFI

Entendemos que estimular la capacidad de modelización en los estudiantes requiere enfrentarlos a fenómenos macroscópicos y pedirles que los expliquen sin tener demasiados conocimientos previos sobre el tema (Galagovsky y Giúdice, 2008). En este caso, se trata de mezclar sustancias cotidianas como agua, alcohol y aceite; en este trabajo debía considerarse al aceite como una fase inmiscible en agua sin analizar su composición.

Postulamos que es factible construir el MFI tomando en cuenta los fenómenos de carácter dinámico observables en los experimentos de la tabla 1, sin tener que recurrir a conceptos como densidad electrónica, geometría molecular, formación de dipolos, moléculas polares y no polares, puentes de hidrógeno, fuerzas de London, etc.

Nuestra propuesta es construir un MFI que involucre la competencia entre interacciones. La idea es caracterizar las fuerzas que se establecen ante el agregado de cada componente antes y después de la agitación en cada experimento. La agitación se considera como una energía adicional entregada que pone en íntimo contacto a gotas y microgotas de cada uno de los componentes en los tubos 2 y 3. El modelo elaborado se debía expresar en lenguaje verbal y gráfico. Desde una descripción verbal, podríamos decir que:

a) En el caso de la mezcla alcohol-agua, la mezcla homogénea resultante permitiría concluir que las fuerzas de atracción entre las partículas de agua y alcohol deberían ser similares a las fuerzas entre partículas de la misma sustancia (alcohol o agua).

b) En el otro extremo, la mezcla aceite-agua daría cuenta de una situación totalmente diferente: las fuerzas de interacción entre las partículas de agua por un lado y las de aceite, por otro, serían de naturaleza tan diferente que no compiten eficazmente entre ellas. La agitación provoca la formación de partículas del tamaño de gotas y microgotas, y la dispersión de una fase en la otra es claramente observable. Sin embargo, a pesar de establecerse interacciones agua-aceite, éstas resultan débiles respecto de la preponderancia de las fuerzas de interacción entre partículas agua-agua o aceite-aceite, respectivamente.

c) Finalmente, con el agregado de alcohol a la mezcla agua-aceite (sin agitar) el alcohol se deposita inicialmente como una fase superior. Con una leve agitación se observa que el alcohol se disuelve y aporta masa en sendas fases (agua-aceite). Esto debería interpretarse como que las fuerzas de interacción entre las partículas de alcohol son similares en parte a las del agua y en parte a las del aceite. La agitación más fuerte es el proceso que, definitivamente, muestra el gran efecto del alcohol en el sistema, al formarse una interfase traslúcida, resistente a la separación (ver Figura 1). Las fuerzas de interacción del alcohol deben ser tales que permitan a la vez interacciones con las partículas del agua y de aceite (esta condición debería

poder dibujarse, sin necesidad de recurrir a conceptos de puente hidrógeno o fuerzas de London, respectivamente).

d) El juego de competencias entre fuerzas que ahora se establece en esa zona muy turbia (la emulsión) estaría indicando interfases debidas a asociaciones bastante estables entre los tres tipos de partículas. Las microgotas que resultan aisladas por esas interfases tendrían composiciones variables entre los tres componentes. Las interfases que aparecen y caracterizan al tercer experimento podrían pensarse como estructuras tridimensionales de asociaciones íntimas de los tres componentes que constituyen barreras bastante estables englobantes de dichas microgotas.

e) La introducción del alcohol en el sistema desencadena tal efecto diferencial que merece recibir un nombre que caracterice a esta propiedad: en el sistema aceite-agua-alcohol, el alcohol funcionó como emulsionante.

En estas líneas precedentes sólo hemos utilizado los términos "fuerzas", "interacción", "competencia entre fuerzas" y "partículas", evitando el vocabulario experto involucrado tradicionalmente en la enseñanza del MFI. Los científicos usan en sus textos términos complejos y también dibujos acompañando sus explicaciones. Evidentemente, si pidiéramos a estudiantes novales que modelen explicaciones microscópicas para estas experiencias, ellos podrían inventar códigos gráficos para complementar sus explicaciones verbales, aunque estos códigos sólo sirvieran en el contexto del aula (cuando reproducimos estas actividades con estudiantes de secundaria, ellos mostraron aptitudes gráficas muy creativas).

Resultados y discusión

Se presentan a continuación las respuestas de los cuatro grupos de docentes, discriminadas en respuestas verbales y respuestas gráficas.

Respuestas en lenguaje verbal

En todos los grupos, los docentes utilizaron expresiones referentes a las interacciones entre partículas, tales como "se atraen", "se mezclan", "se repelen". Las explicaciones que discutieron oralmente dentro del pequeño grupo (Galagovsky, 2004b) hicieron referencia a fuerzas intermoleculares de atracción como las de puente de hidrógeno, y de London, se mencionaron grupos hidroxilos, moléculas no polares y dipolos inducidos. También estuvo presente el concepto de dipolo permanente en la molécula de agua, la polaridad del grupo alcohol y la formación de una emulsión en la interfase del sistema agua-alcohol-aceite. En los paneles, quedaron escritos algunos de estos conceptos.

En ninguno de los grupos se discutió ni se dejó constancia escrita sobre el carácter dinámico de las experiencias, en el sentido de argumentar sobre la evidente competencia entre fuerzas que originaban la separación de las gotas y microgotas de agua o aceite, o sus respectivas reunificaciones en una misma fase. Tampoco se tomó en cuenta el aspecto inicial del sistema ternario, y su evolución. Sólo se describieron verbalmente los sistemas finales.

En resumen, podemos afirmar que las explicaciones verbales de los docentes siguieron la lógica de la enseñanza tradicional en la cual se llega a

hablar del MFI utilizando una serie de entidades abstractas enseñadas previamente. Es decir, si bien se los invitó a ponerse en el lugar de estudiantes no expertos los docentes utilizaron conceptos provenientes de tabla periódica, electronegatividad, densidades electrónicas, dipolos, etc. (al menos en el lenguaje verbal), mostrando la complejidad de sus modelos mentales expertos.

Respuestas en lenguaje gráfico

En la figura 2 se muestran los dibujos presentados en los paneles realizados por los docentes reunidos en cuatro grupos, denominados como grupos 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

Una característica común a todos los grupos fue la utilización apropiada de tres códigos gráficos diferentes para representar a las moléculas de agua, aceite y alcohol, respectivamente.

Se advierte que sólo para el sistema agua-alcohol (tubo 1) del grupo 1 se presentó un código gráfico que representa a las fuerzas intermoleculares. La unión entre las manos de las antropomórficas partículas significaba la unión entre las moléculas de agua y las de alcohol. Sin embargo, en los tubos 2 y 3 del mismo grupo no se utilizó dicho código para señalar las fuerzas intermoleculares en la fase acuosa, ni en la fase inferior de alcohol-agua, respectivamente. Para los tubos 2 y 3 del grupo 1 la proximidad o el contacto directo entre las entidades abstractas señalaron la atracción o no de las moléculas. Este código gráfico de separación entre partículas fue el único utilizado por los grupos 2, 3 y 4 para representar la atracción relativa de las partículas.

En los grupos 1 y 4 se apeló a códigos específicos para señalar la interfase de emulsión, desaprovechando la idea de que está compuesta por los mismos componentes. En los grupos 2 y 3, la zona de emulsión (tubo 3) se muestra como una mezcla de tres componentes; sin embargo, desde este dibujo no habría diferencias entre una fase homogénea y una emulsión, fenómenos muy diferentes desde el punto de vista macroscópico.

Nuevamente, llama la atención que ningún grupo dibujó una secuencia temporal para describir lo ocurrido en cada sistema en relación al fenómeno observable de aparente repulsión entre gotas y microgotas, en los casos de los tubos 2 y 3 luego de agitar la mezcla. Observe el lector, además, que desde la mirada ingenua de un estudiante no experto en ninguno de los dibujos de los tubos 2 se interpretarían diferencias entre el tipo de fuerza intermolecular que se produce en cada fase. En todos los dibujos de los tubos 2 sólo la cercanía de las partículas indica interacción.

Los dibujos de los sistemas agua-aceite para los grupos 2 y 4 dan cuenta de una insolubilidad total entre ambas fases; los grupos 1 y 3, por el contrario, muestran la presencia de alguna solubilidad parcial, biunívoca en el caso del grupo 1 y sólo del aceite en agua en el grupo 2. Sólo el grupo 1 consideró la presencia de alcohol en la fase superior de la emulsión.

Finalmente, el Grupo 4 presenta para el sistema ternario una explicación gráfica adicional con formato de ecuación química, con partículas, un signo más y una flecha.

La nueva pregunta que surge ahora es: ¿Cómo se presentan en los libros los gráficos asociados al MFI?

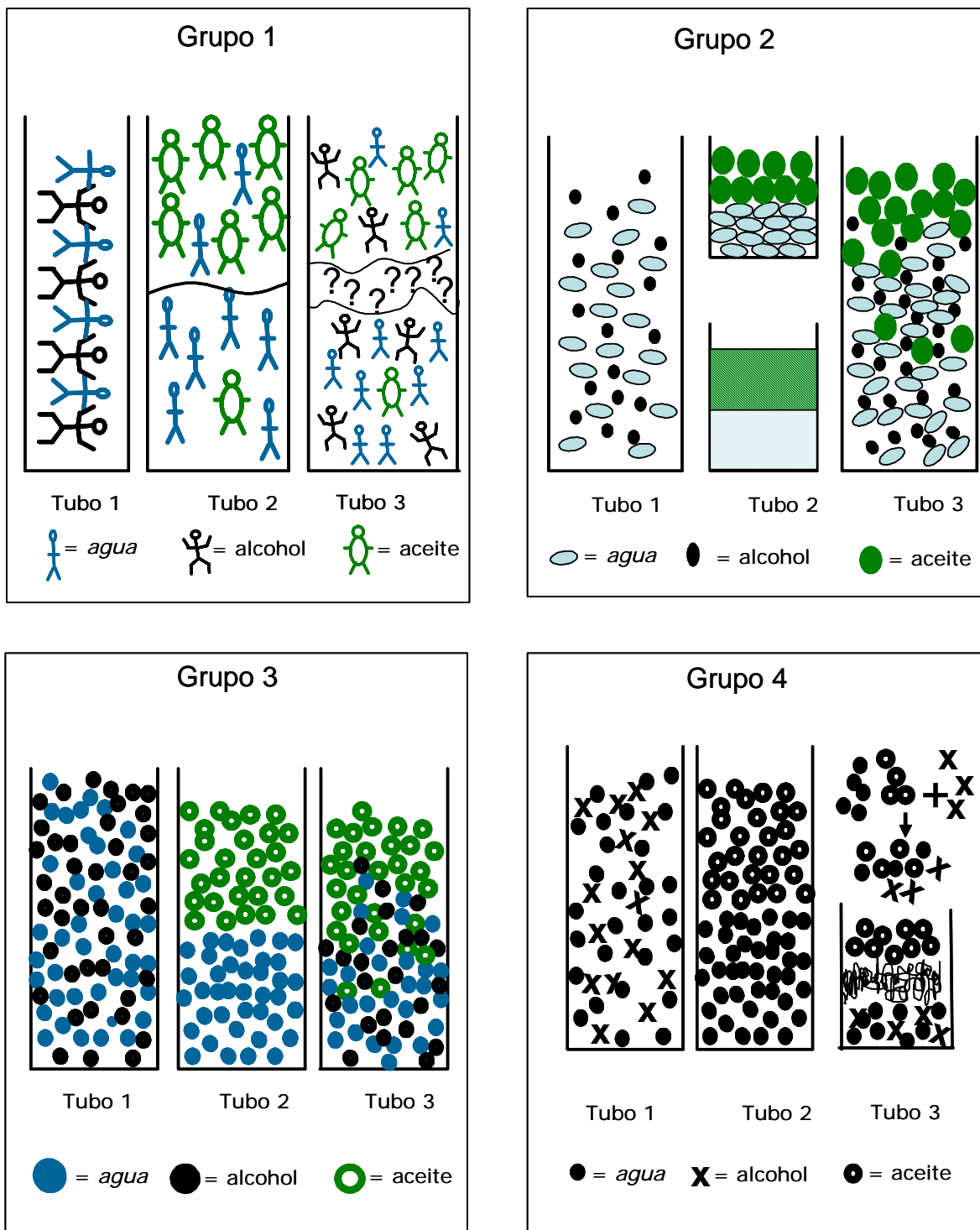


Figura 2.- Respuestas de los cuatro grupos de docentes en lenguaje gráfico.

Explicaciones en lenguaje gráfico sobre el MFI presentes en diversos textos

La mayoría de los docentes del taller utilizó la proximidad o alejamiento de las partículas como código para discriminar diferentes tipos de fuerzas de interacción entre partículas. El análisis de algunos textos de química muy difundidos (Chang, 2005; Atkins y Jones, 2006; Química ACS, 2005) muestra que los dibujos allí expresados sobre el MFI son conceptualmente similares a los realizados por los docentes, con el agregado de iconemas (Bekerman, 2007) que involucran el concepto de nube electrónica, tales como " δ^+ , δ^- ", ó signos más y menos. En las figuras 3 a 6 se analizan dibujos extraídos de estos libros.

En la figura 3 se muestra un dibujo utilizado en el libro de Chang (2005, pág 419) para explicar fuerzas intermoleculares entre moléculas polares. La leyenda que aclara el dibujo es: "*Las moléculas que tienen un momento dipolar permanente tienden a alinearse con las polaridades opuestas en la fase sólida para hacer máxima la atracción.*" En este dibujo se observa que la molécula polar se expresa colocando en los extremos de los óvalos cargas positivas y negativas netas; a pesar de que el consenso indica que las cargas netas generalmente se reservan para designar cargas iónicas. El texto, además hace referencia a un sólido, por lo tanto, de este contexto podría un estudiante suponer que ninguno de estos elementos (gráficos o verbales) se aplicarían a alguna solución como la de las experiencias de la tabla 1.

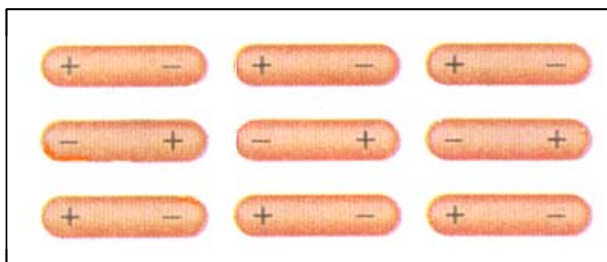


Figura 3.- Dibujo utilizado en el libro de Chang (2005, pág. 419) para explicar fuerzas intermoleculares entre moléculas polares.

La figura 4 muestra el dibujo del libro Química de la American Chemical Society (2005, pág 28) en el contexto de enseñanza de la atracción entre dipolos. La leyenda que acompaña al dibujo es: "*¿Cómo se pueden visualizar las atracciones dipolo-dipolo? Mientras se empujan unas a otras en el líquido, las moléculas dipolares favorecen las disposiciones en las que se maximicen sus interacciones dipolo-dipolo.*" En este caso, se hace referencia a un líquido, se utilizan densidades de carga, y el ordenamiento en el ejemplo superior es consecutivo en la alternancia de signos de densidad electrónica (más parecido a la figura 3), pero en el dibujo inferior de la misma figura la zona de atracción parece ocurrir entre las zonas más abultadas de las moléculas.

La figura 5 muestra el dibujo del mismo libro Química ACS (2005, pag. 27). La leyenda que lo acompaña indica: "*Atracción por dipolos inducidos entre moléculas apolares. Los signos positivos representan el centro de la carga positiva en la molécula. El desplazamiento de la distribución de los*

electrones en una molécula crea un dipolo momentáneo que induce un dipolo en una segunda molécula." Más allá de la poca claridad de la leyenda en cuanto a la significación de los signos más y menos, las moléculas están siempre bien ordenadas (sin cambiar esta ordenación en los sucesivos estadios) y con una separación entre ellas que no da cuenta del estado de agregación.

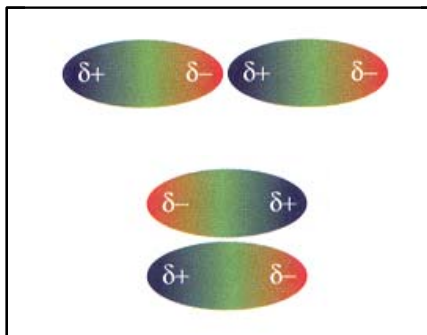


Figura 4.- Dibujo utilizado en el libro Química (ACS, 2005, pág. 28) para explicar atracción entre dipolos.

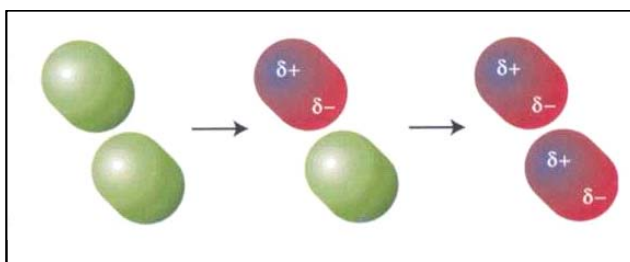


Figura 5.- Dibujo utilizado en el libro Química (ACS, 2005, pág. 27) para explicar la "atracción por dipolos inducidos entre moléculas apolares".

La figura 6 muestra el dibujo utilizado para explicar fuerzas de London en el libro de Atkins y Jones (2006, pág 165). La leyenda aclaratoria dice: "La fluctuación en la distribución de electrones en dos moléculas vecinas da como resultado dos momentos eléctricos dipolares instantáneos que se atraen entre sí. Las fluctuaciones cambian, pero cada nuevo arreglo en una molécula induce un arreglo en la otra que da como resultado la atracción mutua." Debe deducirse del dibujo y del texto que se trata del mismo par de moléculas cuya distribución de cargas cambia simétricamente y donde se establecen dos uniones simultáneas marcadas por sendas rayitas.

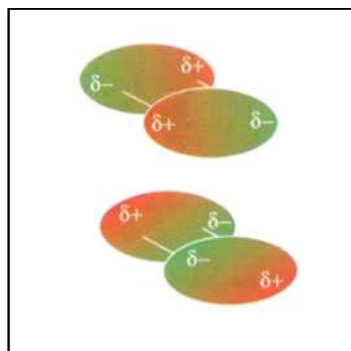


Figura 6.- Dibujo utilizado en el libro de Atkins y Jones (2006, pág165) para explicar fuerzas e London.

En resumen, el análisis de los dibujos de los textos nos muestra escasa existencia de códigos gráficos para expresar interacciones, excepto la cercanía o aproximación para indicar atracciones más fuertes y la referencia a explicaciones subatómicas (como la deformación de la nube electrónica) para justificar estas fuerzas. Sin sus textos aclaratorios estos dibujos aislados no podrían ser considerados "modelos"; pero aún con sus textos aclaratorios, la complejidad de cada conjunto es la evidencia que justifica una necesaria diferenciación entre "modelos" y "dibujos".

Todas las consideraciones previas nos llevan a proponer un marco teórico en el cual los dibujos, esquemas, maquetas y tantos otros recursos didácticos expresados en lenguaje gráfico sean considerados como las "representaciones concretas" a las que recurre un experto (docente o científico) para explicitar parte de su "modelo mental experto". Es decir, las representaciones concretas serían apenas una parte gráfica del "modelo explícito" que, descrito complementariamente en diferentes lenguajes, permite expresar al experto el complejo modelo mental que armoniza sus ideas.

Un nuevo marco teórico

Los lenguajes como información

En nuestras investigaciones en didáctica de las ciencias naturales dirigidas a echar luz sobre dificultades en el aprendizaje, hemos encontrado que estas disciplinas científicas utilizan diferentes lenguajes (verbal, gráfico, de fórmulas, matemático, etc.) para explicar y describir sus fenómenos (Galagovsky et al., 2003; Galagovsky, 2007a,b; Galagovsky y Bekerman, 2008). Decir lenguajes implica un grado de complejidad mucho mayor que hablar de un "modo de representación" (Justi y Gilbert, 2002), fundamentalmente, porque desenvolverse dentro de un lenguaje implica conocer sus convenciones, sus normas, los acuerdos entre expertos sobre cuáles palabras, signos, códigos y formatos sintácticos son aceptables y tienen significado, o no, dentro de cada lenguaje. La existencia misma de la IUPAC (International Union for Pure and Apply Chemistry) es un ejemplo de cómo se llega a acuerdos en el área de los lenguajes de la química.

La red conceptual (Galagovsky, 1999) de la figura 7 contiene una reseña de esta situación:

- a) Todo experto ha construido su conocimiento en base a información recibida y procesada por su mente.
- b) La información científica se expresa en diferentes lenguajes, como el verbal, gráfico, de formulas, etc.
- c) Los lenguajes expertos tienen terminología, códigos y formatos sintácticos específicos.

Si el conocimiento está en las mentes de los sujetos y "no se ve", para que en una clase ocurra una comunicación, esos conocimientos deben transformarse en información explícita de tal forma de fluir interactivamente entre la mente del docente (experto) y la de los estudiantes. Explicitar un conocimiento (transformarlo en información explícita) implica utilizar lenguajes; éstos son las interfases de una cadena de comunicación.

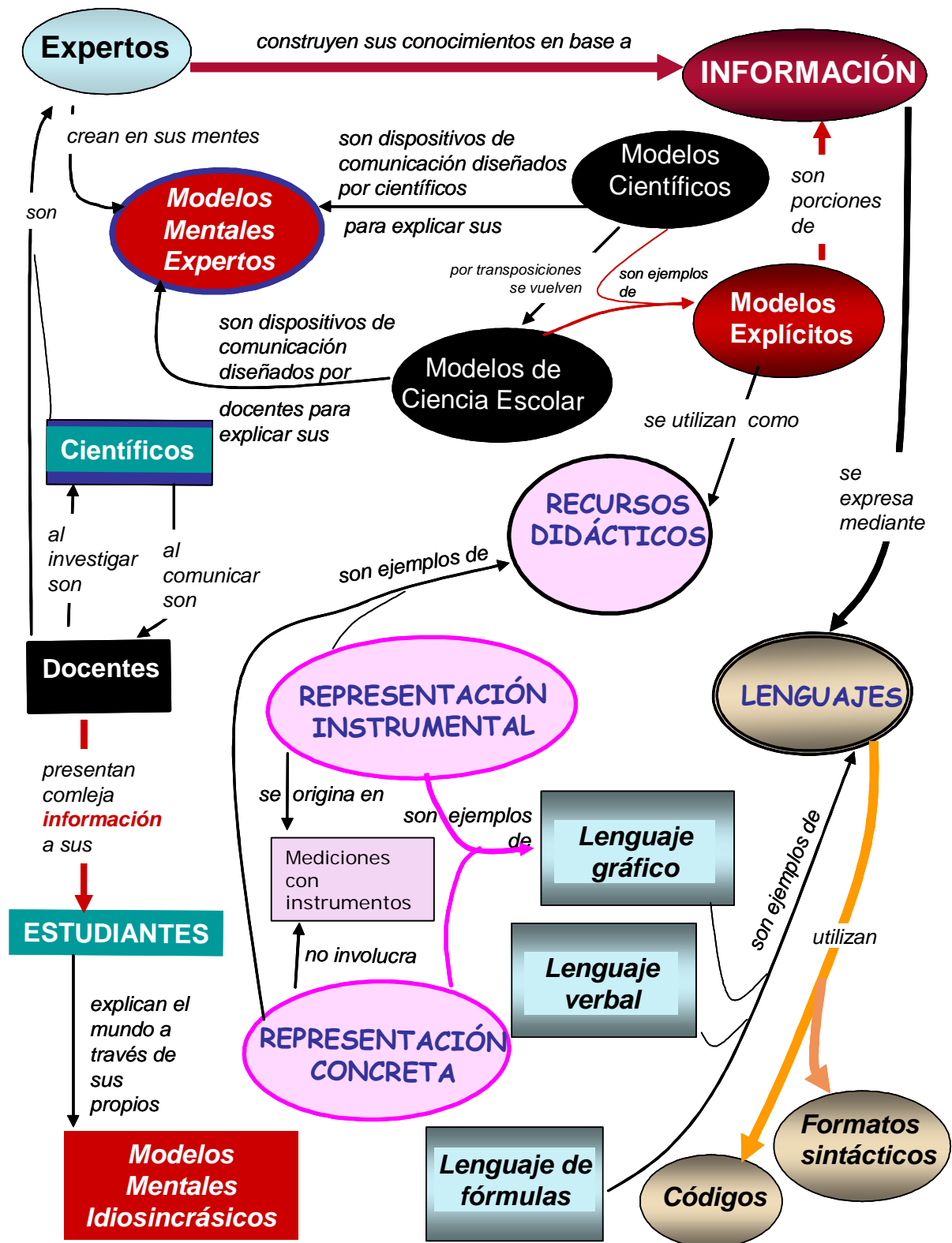


Figura 7.- Red conceptual para la contextualización teórica del concepto polisémico de "modelo" en una situación comunicacional entre expertos y estudiantes.

Los modelos mentales, los modelos explícitos

La comunicación comprensiva entre individuos puede lograrse cuando éstos comparten modelos mentales sobre el tema que están argumentando. Una clase, un aula, son espacios de comunicación entre expertos en un tema (los docentes) y novatos en dicho tema (los estudiantes). Una idea fuerte en didáctica de las ciencias naturales está centrada en la problemática de "hablar ciencias" (Lemke, 1997). El presente trabajo hace aportes en esta línea, en el sentido de revisar obstáculos epistemológicos que dificultan la comunicación en el aula, en tanto docentes y estudiantes debemos compartir significados partiendo de grandes diferencias en nuestras respectivas capacidades de "hablar ciencias".

En una clase totalmente expositiva con interacción nula, el flujo de información es unidireccional: desde el discurso del profesor hacia los sistemas perceptivos y cognitivos de los estudiantes. En una clase más interactiva, de tipo constructivista, los docentes se interesan por conocer las ideas previas de sus estudiantes sobre el tema a trabajar; pero las respuestas de los estudiantes generalmente muestran que sus modelos mentales sobre dichos temas son totalmente alejados de los que, seguidamente, les "transmitirá" el docente.

¿Podrá lograrse una buena comunicación entre el docente y sus estudiantes si es tan diferente lo que cada uno de ellos tiene en sus mentes? Este hecho tiene una consecuencia fundamental: la necesidad de discriminar el concepto de "modelo" en función de su naturaleza implícita o explícita. Un modelo que está en la mente de un sujeto experto (sea éste científico y/o docente) es un "modelo mental experto" (ver Figura 7); cuando con fines comunicacionales este modelo es explicitado, se transforma en una compleja trama de explicaciones que se expresan complementariamente en diferentes lenguajes: aparece, entonces, el "modelo explícito". Este modelo explícito puede ser analizado en sus partes constituidas por porciones de lenguajes expertos, y deducirse de cada una ellas posibles obstáculos epistemológicos para su interpretación por parte de los sujetos no expertos.

En este trabajo hemos mostrado las diferencias entre los modelos mentales expertos de los docentes y sus dibujos para explicar la acción de fuerzas intermoleculares en los tres experimentos de la Tabla 1. Así mismo, el análisis de los dibujos presentes en los textos nos ha permitido confirmar que los modelos mentales de los expertos son tan complejos que requieren echar mano a diferentes formatos gráficos y discursos verbales para explicitarlos. Esta situación refuerza la idea de concebir a los dibujos como representaciones concretas de ideas con los consecuentes y necesarios recortes, simplificaciones, y uso de códigos gráficos, no necesariamente compartidos por todos los expertos. La diferencia entre "modelo explícito" y "modelo mental experto" queda enmarcada en la Figura 7 donde se realiza a los modelos explícitos (ya sean utilizados por docentes o por científicos) como dispositivos de comunicación acerca de las ideas que ellos tienen en sus mentes.

Compartimos con Moreira y colaboradores (1996) la idea de "modelo mental"; sin embargo, ellos han denominado "modelo conceptual" a la "materialización" del modelo mental, y desde nuestra perspectiva el

adjetivo "conceptual" es demasiado abarcativo y ambiguo, dado que se aplicaría tanto al modelo mental como al modelo explícito.

Los modelos explícitos y las representaciones gráficas

Dado que los modelos explícitos se expresan mediante lenguajes pueden originarse rupturas en la comunicación cuando los elementos del discurso no remiten a los mismos significados en la mente de los expertos y en la de los estudiantes. Veamos las figuras 8 a y b: como expertos sabemos que se trata de modelos moleculares (con orbitales moleculares) de cis y trans 1,2-dibromoetileno en el primer caso y de dibujos de dichos compuestos en el segundo caso; ahora bien, cabría preguntarse para quién estos objetos o dibujos son "modelos". Por ejemplo, al ver la Figura 8a algunos estudiantes inexpertos podrían hacerse las siguientes preguntas (*P*) y contestarse con respuestas triviales (*RT*), centradas en el objeto y no en el "modelo" que se quería representar:

P: ¿Cómo hacer para que las bolitas no se caigan?

RT: Deben unirse en con una o dos vueltas de alambre.

P: ¿Cómo mantener separadas las esferas más grandes?

RT: Se colocan en el medio las esferitas más pequeñas.

P: ¿Cuántos electrones pi hay?

RT: Dos, que son diferentes entre sí (ver colores en la foto)

P: ¿Cuántos elementos diferentes debe haber?

RT: En total siete esferas de diferentes tamaños o colores; un alambre y cables de dos colores diferentes

Más aún, al intentar comparar estos modelos moleculares con los dibujos de la figura 8b, los estudiantes inexpertos podrían encontrar sólo diferencias. De hecho, Justi y Gilbert (2002) han encontrado en sus investigaciones que los estudiantes "no valoran positivamente cuando los docentes les presentan diferentes modos de representación de modelos moleculares."

Todos estos hechos estarían indicando claramente la necesidad de discriminar dentro de la categoría "recursos didácticos" cuáles son las características ontológicas que permitirían distinguir entre los conceptos de "dibujos" y "modelos".

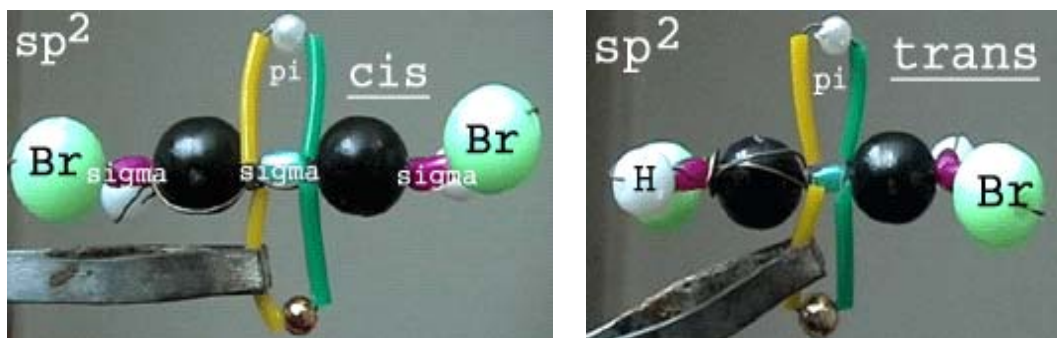


Figura 8a.- Modelos moleculares tridimensionales para el cis y trans 1,2-dibromoetileno (El-Marsafy, 2001).

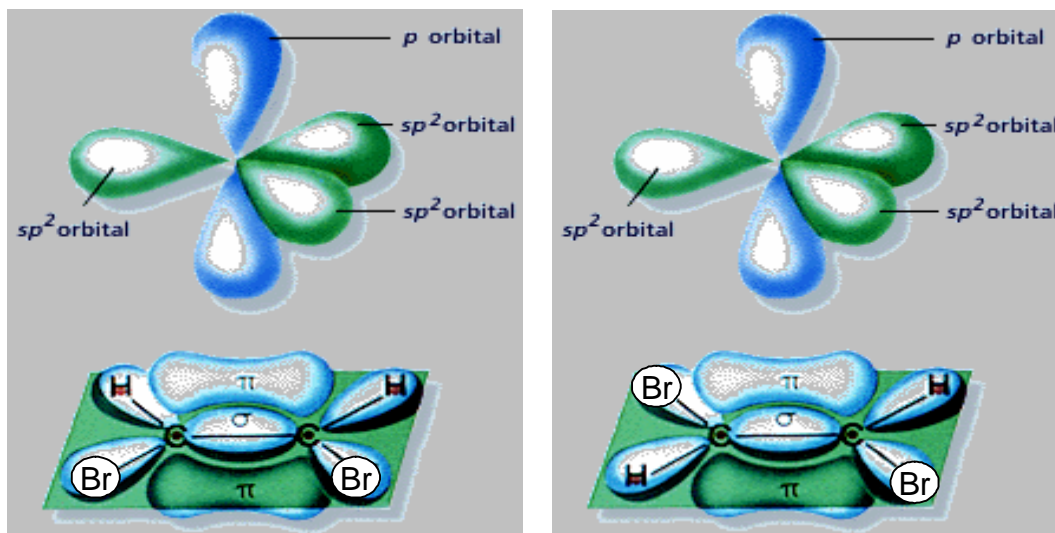


Figura 8b.- Dibujos sobre modelos moleculares para el cis y trans 1,2-dibromoetileno.

Nuestro enfoque, que ha sido resumido en la red conceptual de la figura 7, propone admitir una serie de supuestos tales como:

a) Los “recursos didácticos” incluyen todas las acciones y objetos que se utilizan con fines de enseñanza. Se trata de un concepto muy amplio que abarca textos, material multimedia, consignas, y todo tipo de actividad o material utilizado con fines educativos.

b) La “información” es la parte perceptible de una comunicación. Los recursos didácticos son parte del conjunto de la información.

c) La información se presenta en diferentes lenguajes, cada uno de los cuales tiene sus normativas consensuadas de uso, sean ellas del lenguaje natural, cotidiano, o de lenguajes científicos. Ejemplos son los lenguajes visual, verbal, gráfico, matemático, de fórmulas químicas, etc.

d) Dentro el lenguaje gráfico utilizado en la comunicación en ciencias experimentales se incluyen como ejemplos las representaciones gráficas. Éstas deberían diferenciarse en “representaciones instrumentales” y “representaciones concretas”, cuando se originan o no, respectivamente, en mediciones realizadas con instrumentos (Galagovsky y Adúriz Bravo, 2001). Los ejemplos de la Figura 8 son, claramente, ejemplos de representaciones concretas. Un espectro RMN o infrarrojo del 1,2-dibromo etileno sería, en cambio, un ejemplo de representación instrumental.

e) Los “modelos explícitos” son informaciones creadas por expertos, provienen de sus modelos mentales explicativos, y son parte del conjunto de los recursos didácticos. Los modelos explícitos requieren ser expresados en varios lenguajes. Es decir, se marca una diferencia fundamental entre “modelo mental” y “modelo explícito”; y se define a este último como una porción compleja de discurso erudito que es expresada complementariamente en diferentes lenguajes científicos. Cualquier dibujo, maqueta, etc., es una representación concreta, y por lo tanto, tan sólo es un aporte comunicacional más para la descripción del modelo explícito.

Considerando todos estos supuestos se deduce un hecho significativo: la presentación de información a los estudiantes, ya sea en forma de dibujos,

maquetas tridimensionales, textos, fórmulas o cualquier combinación de recursos didácticos, no garantiza que ellos automáticamente construyan en sus mentes modelos mentales idénticos a los de los expertos que construyeron tales dispositivos didácticos.

Conclusiones

Reflexiones de los docentes del taller

Al analizar sus dibujos y compararlos con los existentes en los textos los docentes del taller tomaron conciencia acerca de la necesaria distinción entre “modelos mentales expertos” (que no pueden observarse directamente, pues están en las mentes de los docentes), y los “modelos explicitados”. Asimismo, los docentes se impactaron fuertemente ante la evidencia de la limitación de considerar a cada dibujo como un “modelo”.

Se reconoció que cualquier representación concreta (Figura 7) expresa sólo una pequeña parte de lo que tienen en sus mentes como modelos los expertos que las crearon. De esta forma, se cae en la cuenta de las dificultades con las que podrán enfrentarse los estudiantes cuando se les presenta información gráfica esperando que ésta funcione como “modelo”.

Los docentes también reflexionaron sobre la falta de códigos gráficos consensuados entre los expertos para designar fuerzas intermoleculares, excepto para el puente de hidrógeno, que generalmente se señala con una línea de puntos (Bekerman, 2007), y sobre la utilización de la proximidad entre moléculas como código para los cambios de estado de las sustancias.

La vivencia del taller estimuló a los docentes a comprender que estas actividades pueden ser aplicadas a sus propios estudiantes, rescatando como muy interesante la posibilidad de que ellos intentaran postular un MFI a partir de los sencillos experimentos con agua, alcohol y aceite, sin tener conocimientos previos sobre el tema, con la necesaria la creación de expresiones verbales y gráficas *ad hoc*. Esta alternativa tiene detrás importantes cuestiones epistemológicas sobre qué es ciencia y qué es hacer ciencia en el aula (Galagovsky, 2008).

Consideraciones epistemológicas

El primitivo hechicero guardaba secretamente sus conocimientos como parte fundamental de su poder y supervivencia. El alquimista quimérico buscaba para su propia trascendencia la transmutación de los metales en oro y la piedra filosofal. El científico moderno, en cambio, se ha enfrentado desde Galileo, con la necesidad de comunicar sus ideas y descubrimientos, y de ser comprendido por sus colegas. Para ello, ha utilizado lenguajes naturales y ha inventado lenguajes expertos.

Latour y Woolgar (1995) y Knorr-Cetina, (1995) señalan que los científicos pasan gran parte de su tiempo laboral codificando, marcando, corrigiendo, leyendo, escribiendo y discutiendo. En otras palabras, los científicos deben persuadir a otros y ser persuadidos, para aceptar como hechos los enunciados que construyen. Hacer ciencia, por lo tanto, implica discutir, razonar, argumentar, criticar y justificar ideas y explicaciones, modelizar para interpretar fenómenos (Henao y Stipcich, 2007). El estudio histórico de estos procesos se hace en función de la documentación

existente, mediante el análisis de los discursos explícitos que dan cuenta del estado de los conocimientos científicos en cada época.

Para el estudio de los problemas en el aprendizaje de las ciencias puede resultar interesante descifrar la formación de obstáculos epistemológicos para la comprensión de los estudiantes mediante el análisis de cómo ellos interactúan con los discursos eruditos explícitos, ya que éstos constituyen la compleja información con la que se les enseña. Henao y Stipcich (2007) señalan que enseñar y aprender ciencias requiere de estrategias basadas en el lenguaje; también desde la perspectiva toulminiana (Toulmin, 1999, 2003) aprender ciencias es apropiarse del acervo cultural, compartir los significados. En este trabajo, centrándonos en el tema de Fuerzas Intermoleculares, mostramos una reflexión necesaria sobre la mirada ingenua que no nos permite apreciar la complejidad del discurso erudito que utilizamos para la enseñanza.

Consideraciones didácticas

Nuestras conclusiones teóricas tienen implicancias didácticas importantes al discriminar diferencias entre los términos "modelos" y "dibujos" desde el punto de vista del aula, centrando a los procesos de enseñanza y aprendizaje en sus aspectos comunicacionales (ver Figura 7). Estas consideraciones son:

a) Los científicos construyen modelos mentales expertos acerca de determinados fenómenos; éstos "no se ven", pues están en las mentes de los científicos quienes deben presentarlos (explicitarlos) para discutirlos con sus pares (Giere, 1992). Es decir, las argumentaciones entre científicos se realizan sobre la base de comunicar sus pensamientos, presentando modelos científicos explícitos.

b) Los docentes construimos nuestros propios modelos mentales expertos a partir de los modelos científicos explícitos que encontramos en los libros universitarios. Con la finalidad de enseñar, modificamos, simplificamos, y mediante trasposiciones didácticas producimos "modelos de ciencia escolar", para presentarlos en el aula. Éstos también son explícitos y constituyen una parte fundamental de la información que se presenta a los estudiantes.

c) Para la comunicación de sus modelos mentales, científicos y docentes recurren a explicaciones armadas mediante un complejo ensamble de elementos de lenguajes expertos, generando modelos explícitos. Muy frecuentemente, representaciones concretas en lenguaje gráfico (dibujos) que son sólo partes de modelos explícitos complejos, son también denominados "modelos".

d) Los dibujos, o cualquier tipo de material 3D que utilizamos con fines comunicacionales (como el caso de modelos moleculares, modelo de célula, modelo de interacción, etc.), deben considerarse representaciones concretas. Los "modelos explícitos" son construcciones discursivas complejas que utilizan representaciones concretas y muchos otros recursos didácticos expresados en diferentes lenguajes.

e) Los estudiantes, a su vez, construyen sus propios "modelos mentales idiosincrásicos" en función de la información que reciben de profesores y

textos, y de sus propias características cognitivas. Estos modelos mentales idiosincrásicos se construyen en base a conocimientos previos y suelen estar basados en el "sentido común", otorgando significaciones cotidianas a palabras y dibujos provenientes de la instrucción (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001; Galagovsky y Bekerman, 2008).

f) Discriminar el término "modelo mental" y distinguirlo según quién sea el sujeto que lo sostiene nos permite reconsiderar qué significa lograr en estudiantes la habilidad cognitiva de modelizar (Giúdice y Galagovsky, 2008).

Finalmente, Perales López y Romero Barriga (2005) señalan que la alfabetización visual es crucial en la comprensión y la retención de imágenes. Según estos autores, los docentes tendemos a pensar equivocadamente que la interpretación de las imágenes depende de habilidades intuitivas, insertas de forma natural en los sistemas de procesamiento visual. Este sería uno de los errores más frecuentes que los docentes y los autores de libros cometemos en nuestra labor. En este trabajo pusimos en evidencia la ambigüedad de los códigos gráficos utilizados en el discurso erudito para la enseñanza del MFI. Este hecho, sumado a nuestra propuesta teórica sobre las diferencias entre "dibujos" y "modelos", y en acuerdo con los autores que reclaman la necesidad de hablar ciencias y argumentar en ciencias como medida de la calidad de los aprendizajes, nos lleva a considerar la importancia de aumentar el número de investigaciones dedicadas al estudio de problemas de aprendizaje de ciencias derivados de fallas en la comunicación entre los modelos mentales de docentes y estudiantes y las implicancias que la necesaria utilización de lenguajes impone en tales fallas.

Referencias bibliográficas

Atkins P. y Jones L. (2006). *Principios de Química. Los caminos del descubrimiento*. 3ª. Edición. Buenos Aires: Editoria Médica Panamericana.

Bekerman, D. (2007). *La utilización de la imagen en los procesos de enseñanza y aprendizaje de Química Orgánica*. Tesis Doctoral, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires.

Bell, J.; Branz, S.; Bunce, D.; Cooper, M.; Dwaine Eubanks, I.; Pryde Eubanks, L.H.; Morgan, W.; Noether .Dscharberg, M.; Silberman, R. y Wright, E. (2005). *Química. Un proyecto de la American Chemical Society*. España: Editorial Reverté.

Bunge, M. (1976). *La investigación científica*. Barcelona: Ariel.

Chang, R. (2005). *Química*. Séptima edición. Colombia: Mc Graw Hill.

El-Marsafy, M.K. (2001). *Microchem in Photos. Microscale Chemistry Experimentation for Teachers*.

En: <http://www.micrecol.de/chemarsafE25.html>

Estany, A. (1993). *Introducción a la filosofía de las ciencia*. Barcelona: Editorial Crítica.

Galgovsky, L. (1999). *Redes Conceptuales: Memoria, Comunicación y Aprendizaje*. 2da. Edición. Buenos Aires: Editorial Lugar.

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

Galagovsky, L. (2007b). ¿Es modelizar en química sinónimo de usar modelos? Conferencia, *V Jornadas Internacionales de Enseñanza Preuniversitaria y Universitaria de la Química*, 13-16 de Noviembre del 2007, Santiago de Chile, Chile.

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

Galagovsky, L. y Adúriz Bravo, A (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias* 19,2, 231-242.

Galagovsky, L. y Bekerman, D. (2008). La Química y sus lenguajes: un aporte para interpretar errores de los estudiantes. Enviado a *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*.

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

Giudice J. y Galagovsky, L. (2008). Modelizar la naturaleza particulada de la materia: una propuesta para escuela media. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 7,3, 629-658. En: <http://saum.uvigo.es/reec>.

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

Gutiérrez, R (2005). Polisemia actual del concepto "modelo mental". Consecuencias para la investigación didáctica. *Investigación Didáctica*, 10, 2. En: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/>

Henao, B.L. y Stipcich, M.S. (2008). Educación en ciencias y argumentación: la perspectiva de Toulmin como posible respuesta a las demandas y desafíos contemporáneos para la enseñanza de las Ciencias Experimentales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 7,1, 47-62. En: <http://saum.uvigo.es/reec>.

Knorr-Cetina, K. (1995). Laboratory Studies: the cultural approach to the study of science. En S. Jasanoff, G. Markle, J. Petersen and T. Pinch (Eds.), *Handbook Of Science And Technology Studies* (pp.140-166). Los Angeles: Sage Publications.

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. 90-127). New York: Oxford University Press.

Johnstone, A.H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education* 70,9, 701-705.

Justi, R. and Gilbert. J. (2002). Models and modelling in Chemical Education (capítulo). En KJ. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. Treagust y JH. Van Drien (Ed.), *Chemical Education: Towards Reseach – bases Practice*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Latour, B. y Woolgar S. (1995). *La vida en el laboratorio: la construcción de hechos científicos*. Madrid: Alianza Editorial.

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

Moreira, M. A.; Greca, I. M.; Rodríguez Palmero, M. L.. (1996). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias. En: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/vergnaudespanhol.pdf>

Nappa, N.; Insausti, M.J. y Sigüenza A.F. (2005). Obstáculos Para Generar Representaciones Mentales Adecuadas Sobre La Disolución, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 2, 3, 344-363.

Perales López, J.C. y Romero Barriga, J.F. (2005). Procesamiento conjunto de lenguaje e imágenes en contextos didácticos: Una aproximación cognitiva. *Anales de Psicología*, 21,1, 129-146.

Rumelhart, D.E. y Ortony, A. (1977). The representation of knowledge in memory. En: Anderson, A.C., Spiro, R.J. y Montague, W. E. (Eds.), *Schooling and the acquisition of knowledge*. New York: LEA. Hillsdale. Trad. cast. en *Infancia y Aprendizaje*, 1982, 19/20, pp 115-158.

Talanquer, Vicente (2006). Commonsense Chemistry: A Model for Understanding Students' Alternative Conceptions. *Journal of Chemical Education* 83, 5, 811-816.

Toulmin, S. (1999). *The uses of argument*. Cambridge: Cambridge University Press.

Toulmin, S. (2003). *Regreso a la razón*. Barcelona: Ediciones Península.