

La Química y sus lenguajes: un aporte para interpretar errores de los estudiantes

Lydia Galagovsky¹ y Diana Bekerman^{1, 2}

¹Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA. Buenos Aires, Argentina. E-mail: lyrgala@qo.fcen.uba.ar. ²Departamento de Química Orgánica. Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires, Argentina. E-mail: dianagbh@ffyb.uba.ar.

Resumen: En los últimos 30 años la investigación en aprendizaje de las ciencias naturales ha mostrado que los estudiantes construyen explicaciones y hacen predicciones diferentes de las que son aceptadas por la comunidad científica.

En el presente trabajo analizamos respuestas erróneas expresadas en lenguaje gráfico realizadas por estudiantes de 4° año de Bachillerato (16 años) durante la evaluación del aprendizaje del tema "disoluciones" en la asignatura Química. Los errores se presentaron en dibujos con partículas representando los sistemas de cloruro de sodio-agua, agua-ciclohexano y cloruro de sodio-agua-ciclohexano.

Una discriminación conceptual basada en marcos teóricos provenientes del campo de la lingüística y de la semiología de la imagen, sumadas a la interpretación de una capacidad de procesamiento de la información diferente en sujetos expertos (docentes) y novatos (estudiantes), nos permitió proponer interpretaciones sobre el origen de las respuestas erróneas de los estudiantes.

Palabras clave: Sistema de Procesamiento de la Información, aprendizaje de la Química, lenguaje gráfico, semiología de la imagen

Title: The languages of Chemistry: a contribution to understand student's mistakes.

Abstract: During the last 30 years research in Natural Science learning has shown that students make explanations and predictions different from what scientists accept.

The present work analyzes wrong drawings made by secondary students (16 years old) during assessment of their learning about the topic "solutions", in the Chemistry course. Errors showed up in drawings involving particles (submicroscopic level) to explain sodium chloride-water, water-cyclohexane, and sodium chloride-water-cyclohexane systems.

Interpretations were made on the origin of students' wrong responses, by using a conceptual discrimination based on theoretical frames from Linguistics and Image Semiotic, added to the consideration of experts and novices as Information Processing Systems with different abilities.

Keywords: Information processing system, Chemistry learning, graphical language, image semiotic

Introducción

En los últimos 30 años la investigación en aprendizaje de las ciencias naturales ha mostrado que los estudiantes de Química construyen explicaciones y hacen predicciones diferentes de las que son aceptadas por la ciencia (Barker, 2000; Taber, 2002; Talanquer, 2006). Si bien los estudiantes tratan de asimilar la nueva información a las estructuras de conocimiento que ya poseen, en muchas ocasiones construyen representaciones y conceptualizaciones parciales (Flores y Gallegos, 1999), lo cual los conduce a generar productos de aprendizaje incorrectos. Talanquer (2006) señala que estas evidencias no siempre se registran durante las evaluaciones tradicionales, ya que los docentes generalmente indagan con preguntas cerradas sobre una única respuesta que debe coincidir con lo enseñado en clase.

Si bien, frecuentemente, estas fallas académicas de los estudiantes de Química suelen atribuirse a sus faltas de esfuerzo o a formas inadecuadas de enseñanza, Talanquer (2006) propone otra interpretación apoyada en investigaciones sobre razonamiento humano. Este autor rescata modelos cognitivos que muestran que la gente hace inferencias acerca del mundo usando procesos que son relativamente simples de aplicar (Tversky et al., 1983; Todd, et al., 2000; Leighton y Sternberg, 2004); se trata de cortocircuitos de razonamiento, también llamados "heurísticos", que actúan generando mecanismos de respuestas aceptables y sin demasiados esfuerzos. Este autor señala que tales heurísticos no son necesariamente lógicos o coherentes, su función sería más bien la de generar inferencias razonables y adaptativas sobre el mundo frente a limitaciones en los conocimientos y a apuro por generar respuestas. El uso de heurísticos para resolver problemas, tomar decisiones, o dar explicaciones puede ser el origen de respuestas incoherentes e irracionales desde el punto de vista científico y, sin embargo, estarían reflejando mecanismos adaptativos naturales del raciocinio (Hilton, 2002).

En un intento por explicar frecuentes errores de los estudiantes de Química, Talanquer (2006), basándose en la existencia de estos mecanismos heurísticos ha elaborado lineamientos acerca de cómo significados alternativos provenientes del sentido común, inducirían a los estudiantes a interpretar erróneamente explicaciones químicas. Este autor señala la importancia de su análisis frente a enfoques más tradicionales consistentes en sólo inventariar las ideas erróneas de los estudiantes, ya que estos enfoques no poseen poder predictivo ni explicativo de los mecanismos de pensamiento que subyacen a tales equivocaciones.

Desde nuestra perspectiva de investigación valoramos la idea de los heurísticos y proponemos que ciertos mecanismos cognitivos considerados dentro del Sistema de Procesamiento de la Información (SPI) de Ericcson y Simon (1999) podrían constituirse en explicaciones sobre cómo operan tales heurísticos. Asimismo, consideramos a la Química como una disciplina científica que se expresa a través de un complejo conjunto de lenguajes (Galagovsky et al., 2003; Galagovsky, 2007; Galagovsky et al., 2008). El presente trabajo constituye un aporte metodológico para el análisis de errores de estudiantes de 4º año de Bachillerato durante el aprendizaje del tema "disoluciones" en la asignatura Química.

Objetivos del trabajo

El trabajo incluye:

- a) Una presentación de respuestas gráficas erróneas obtenidas por seis alumnos de secundaria en una indagación sobre obstáculos de aprendizaje en el tema disoluciones.
- b) Un análisis de tales respuestas erróneas desde el SPI integrado con aportes provenientes de la lingüística y de la semiología de la imagen.
- c) Una conceptualización sobre el marco teórico que entiende al discurso de la disciplina Química como formado por múltiples lenguajes y que permitiría reconocer cómo esta complejidad opera en la generación de obstáculos para los aprendices.

Marco teórico

El Sistema de Procesamiento de la Información (SPI)

Una rama de la Psicología Cognitiva supone a la mente de los sujetos humanos como un sistema procesador de información y su funcionamiento como el de un ordenador (Pozo, 1997). Para describir este sistema existen diferentes modelos, la mayoría de los cuales coincide en postular las llamadas Memoria de Corto Plazo (MCP), Memoria de Largo Plazo (MLP) y Memoria de Trabajo (MT), con las siguientes características:

La MCP tiene una capacidad limitada a aproximadamente 7 ± 2 "bits" de información simultánea en la atención consciente que pueden mantenerse durante unos 10-20 segundos (Miller, 1956; Mayer, 1985). Luego de ese tiempo, si la información no pasa a la MLP, se pierde. La MLP tendría una capacidad muy amplia para guardar información y ésta se mantendría a través del tiempo; los parámetros de la MLP no son totalmente conocidos. La información guardada en la MLP puede hacerse accesible por mecanismos cognitivos de evocación.

La limitada capacidad de la MCP para procesar información es un verdadero "cuello de botella" en el sistema cognitivo (Novak, 1998), encontrándose en este punto un sustento muy importante para diferenciar la capacidad de procesamiento de información entre expertos y novatos.

La capacidad de la MCP sólo puede aumentarse mediante procesos asociativos ("chunking"). La MT sería la que opera y monitorea la relación entre la información que le llega al sujeto y la que éste ya tiene en su MLP (Johnstone, 1993). La MT media para favorecer procesos asociativos que permitan al sujeto aumentar su capacidad de procesamiento de la información e interviene en la selección, jerarquización y ordenamiento de la información que podrá ser guardada en la MLP. Asimismo, la MT es la operadora de los mecanismos de evocación y organización de respuestas.

El guardado de información en la MLP es idiosincrásico, dado que los procesos cognitivos de cada sujeto realizarían selecciones jerárquicas particulares sobre la información recibida. Ericsson ha propuesto una metodología para la investigación de mercado (mediante encuestas a consumidores) basada en estos modelos de memorias y en considerar a los sujetos como "sistemas procesadores de información" (Ericsson y Simon,

1999; Ericsson, 2006). Para el presente trabajo rescatamos parte de las concepciones de este autor, particularmente en lo concerniente a dos momentos dentro del procesamiento de la información:

Por un lado, consideramos el momento cuando un sujeto recibe información. En él su MT realiza una selección (generalmente automática, no consciente) de una parte del todo percibido como información entrante. Esto conduce a que el guardado en la MLP se realice con algún tipo de "marcación" (ver Figura 1a). Según Ericsson hay una señalización o indexación que daría un relieve al recuerdo que se guarda en la MLP. Este relieve es un "patrón" o "señalador". La "información señalizada" guardada en la MLP resultaría, entonces, accesible a los procesos de búsqueda durante la evocación.

Por otro lado, consideramos el momento cuando el sujeto quiere evocar una información guardada en su MLP. Este momento se dispara frente a una pregunta hecha por el propio sujeto o proveniente de una demanda externa. Para la evocación, la MT del sujeto seleccionaría un "puntero" o "anzuelo" dentro de la pregunta-estímulo; con este anzuelo se operaría una búsqueda asociativa entre los "señaladores" que han sido guardados en la MLP (ver Figura 1b). Un recuerdo sería accesible cuando los mecanismos de evocación lograran recuperarlo y traerlo a la MT, mediante una asociación "anzuelo-señalador" (ver Figura 1c). La respuesta se organizaría a partir de estas evocaciones y de otros heurísticos en los que se genera también información *ad hoc*.

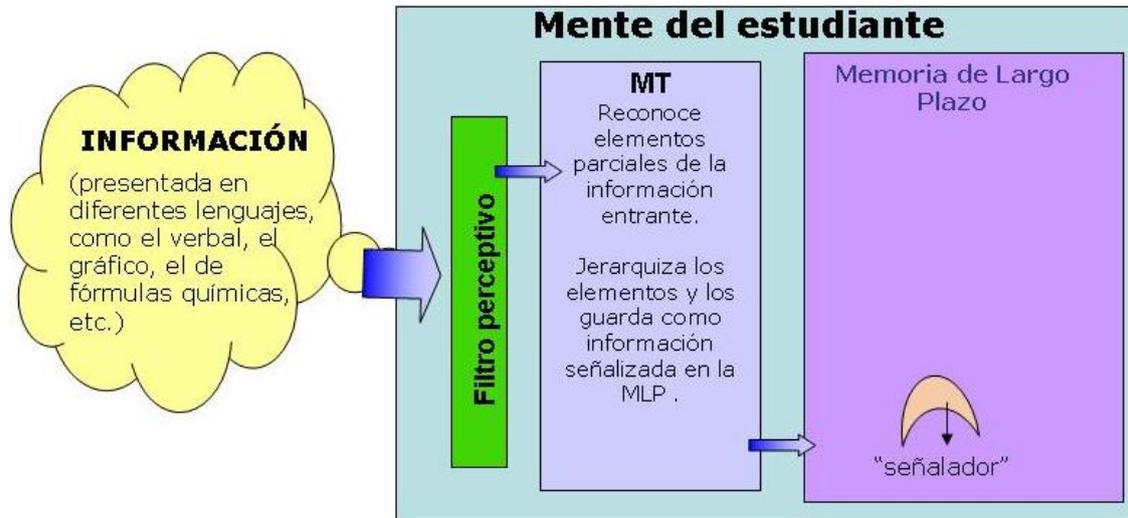
Con estas premisas, representadas gráficamente en la figura 1, consideramos que las asociaciones "anzuelo-señalador" son el material informativo recuperado por los estudiantes desde sus MLP, a partir del cual ellos organizan y expresan sus respuestas.

Los lenguajes como información

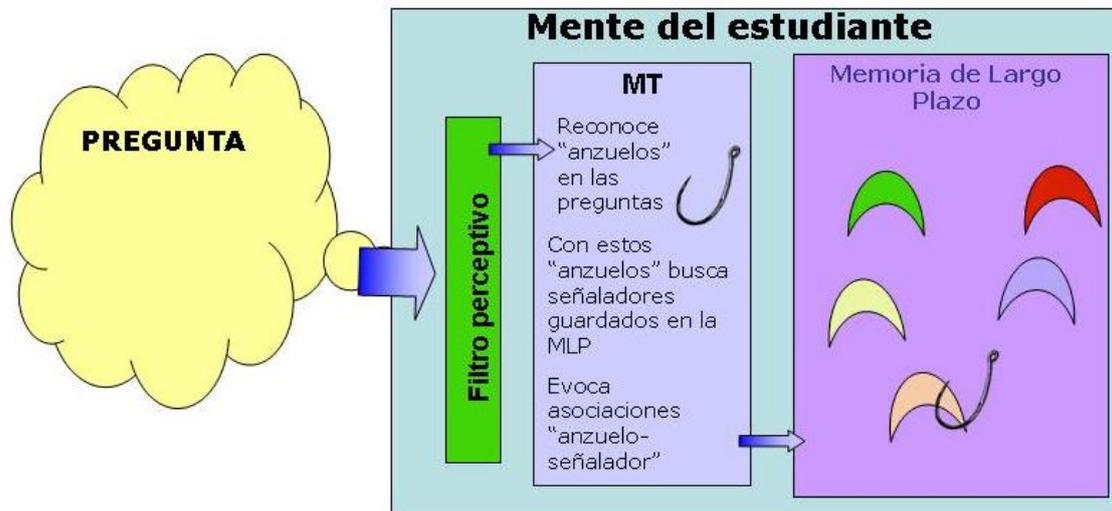
Una clase de ciencias es un espacio de comunicación entre el docente, experto en temáticas, y los estudiantes. Una idea fuerte en didáctica de las ciencias naturales está centrada en la problemática de "hablar ciencias" (Lemke, 1997). El presente trabajo hace aportes en esta línea, en el sentido de revisar 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 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, 2007; Giúdice y Galagovsky, 2008).

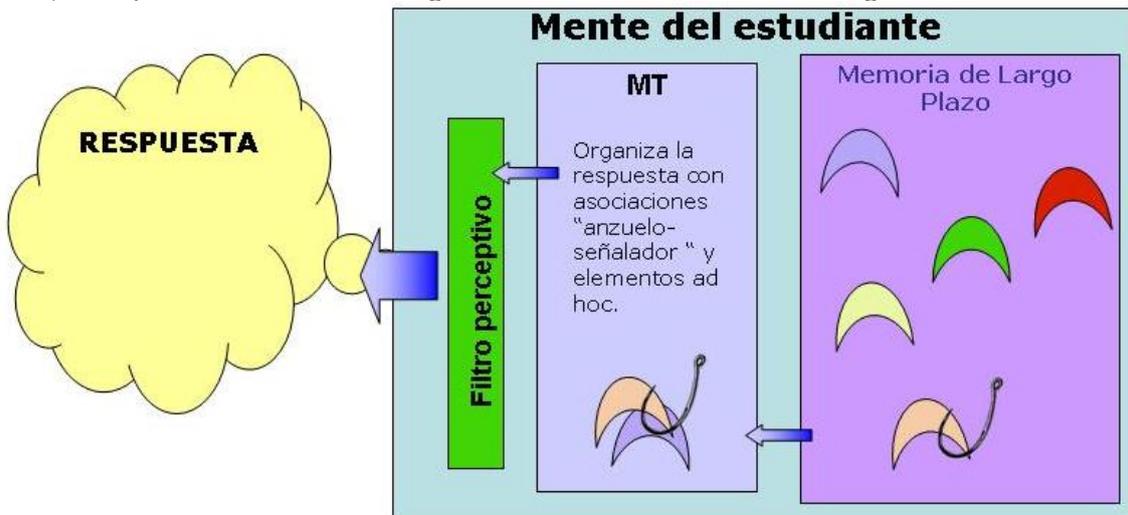
Decir que el discurso científico se expresa mediante lenguajes implica que un sujeto que aprende la disciplina debe conocer significados, convenciones, normas, acuerdos entre expertos sobre cuáles palabras, signos, códigos, gráficos y/o formatos sintácticos son aceptables, o no, dentro de cada lenguaje.



a) Guardado de información en la Memoria de Largo Plazo



b) Búsqueda de señadores guardados en la Memoria de Largo Plazo



c) Evocación y elaboración de respuestas

Figura 1.- Sujetos humanos como sistemas procesadores de información.

Un docente de Química es un experto que ha aprehendido el discurso de esta disciplina científica. La figura 2 muestra las relaciones entre un experto en Química y los niveles macroscópico y simbólico, y el cúmulo de lenguajes involucrados en esta disciplina científica (Galagovsky et al., 2003). En ella se resalta que:

Por un lado, todo experto ha construido su conocimiento en base a información científica que se expresa en diferentes lenguajes específicos; a través de ellos, los expertos explican simbólicamente los fenómenos en estudio.

Los lenguajes expertos tienen terminología, códigos y formatos sintácticos específicos.

Por otro lado, la Química utiliza un lenguaje verbal con un vocabulario específico cuyas significaciones resultan difíciles para los estudiantes novatos (por ejemplo, enlaces iónicos, covalentes, metálicos; puentes de hidrógeno, fuerzas de London, orbitales, nubes electrónicas, hibridaciones, resonancia, etc.). Lo mismo ocurre con su lenguaje gráfico: esquemas con partículas, coordenadas de reacción, diagramas de energía, etc., son altamente simbólicos, ya que representan una realidad inobservable modelada (Galagovsky, 2008; Galagovsky et al., 2008).

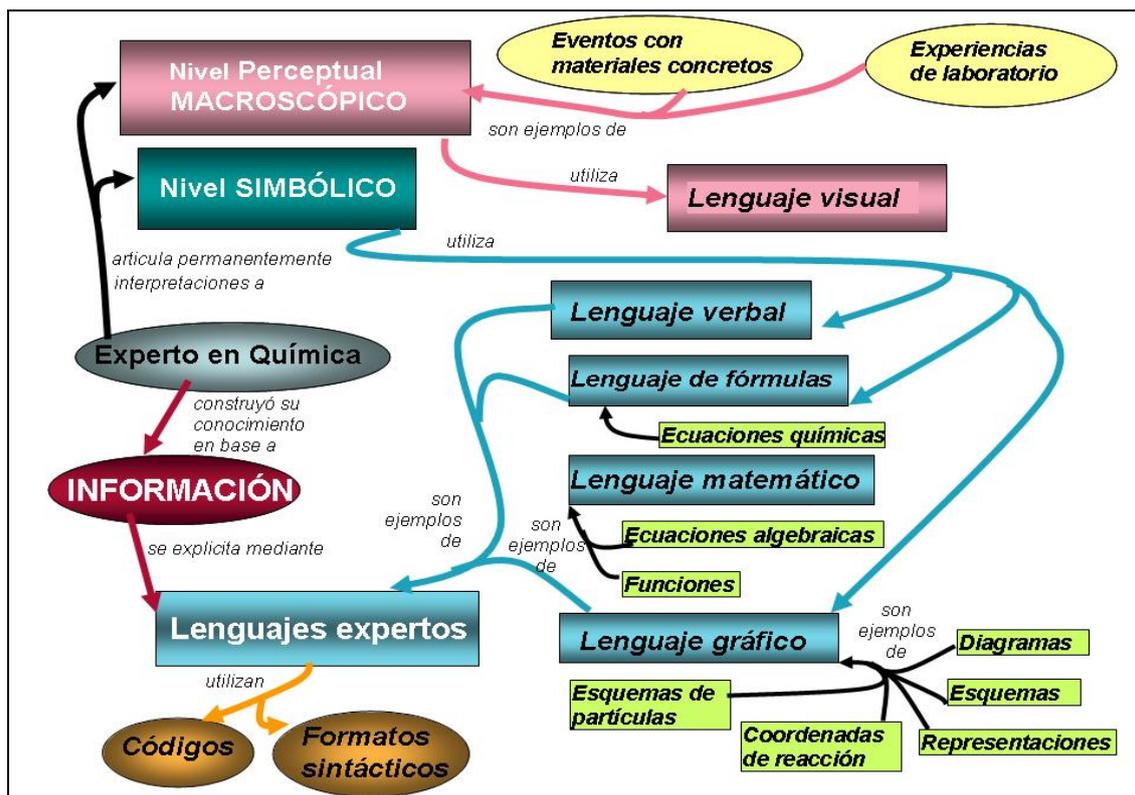


Figura 2.- Red conceptual sobre lenguajes y niveles de análisis de un experto en Química.

Finalmente, el discurso científico de la Química también involucra lenguaje matemático, y de fórmulas químicas que involucran códigos y formatos sintácticos específicos. La figura 3 muestra tres ejemplos de cómo es posible describir la misma reacción química de formación del cloruro

férrico apelando a diferentes códigos y formatos sintácticos consensuados por los expertos.

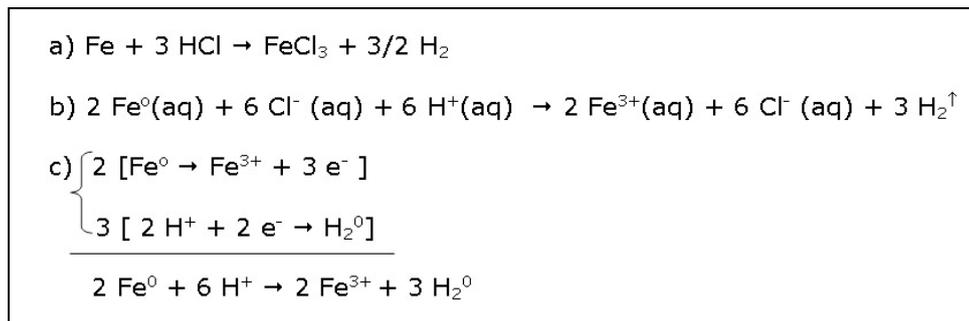


Figura 3.- Tres ejemplos de formatos sintácticos diferentes para describir la reacción de formación del cloruro férrico mediante el lenguaje de fórmulas químicas.

Un experto puede elegir cualquiera de estos formatos en función de qué es lo que quiere realzar en su explicación. Sin embargo, para un estudiante novato cada una de las sintaxis puede resultar un objeto de estudio diferente, complicando su capacidad de comprensión al ser rápidamente superados los 7 bits de información que admite su MCP (Mayer, 1985).

Todos estos lenguajes con los que se enseña Química son informaciones que se presentan a los estudiantes. Cada docente de Química selecciona alguna parte de la información erudita y explica hablando, dibujando, haciendo esquemas, presentando fórmulas. Los docentes pensamos complementariamente en todas esas opciones comunicacionales y sabemos mucho más que lo que expresamos. Cada docente recurre a una vasta variedad de recursos didácticos para sus explicaciones (Galagovsky et al., 2008) y esto significa que su intención es mostrar "traducciones entre lenguajes simbólicos". Sin embargo, estas estrategias de utilizar numerosos recursos didácticos podrían no ser entendidas por los estudiantes en forma complementaria (Justi y Gilbert, 2002) y constituirse, en cambio, en obstáculos de aprendizaje.

La experiencia y los resultados

Estudiantes cursantes de la asignatura Química de 4° año (de entre 15 y 17 años de edad) de un Bachillerato de la Ciudad de Buenos Aires luego de haber recibido enseñanza tradicional sobre el tema "disoluciones", y haber aprobado la correspondiente evaluación dentro del ciclo lectivo del año anterior, fueron invitados a participar de una instancia voluntaria (Bekerman, 2007; Bekerman y Galagovsky, 2007). Ésta consistió en realizar una serie de 10 experimentos sencillos (con distintos solutos y solventes) para que luego los estudiantes explicaran lo ocurrido, organizando textos y dibujos. Se esperaba que ellos identificaran tipos de sistemas formados, tipos de partículas e interacciones involucradas.

Los estudiantes voluntarios habían estudiado y aprobado con excelentes calificaciones el año anterior la unidad "Uniones químicas", que incluía, entre otros temas, uniones intermoleculares de London, dipolo-dipolo; dipolo-dipolo inducido; ion-dipolo y puente de hidrógeno (Aldabe, 1999; Alegría, 1999; Candás, 2000; Del Fávero, 2001). De todas formas, antes de

la actividad experimental se realizó un repaso de esos conceptos, que abarcó tres encuentros de una hora cada uno. De los 22 estudiantes voluntarios, 12 participaron de todos los encuentros.

En este trabajo presentamos y analizamos seis respuestas erróneas en lenguaje gráfico, obtenidas para los experimentos de mezclar:

- I) cloruro de sodio + agua + ciclohexano
- II) agua + ciclohexano
- III) agua + cloruro de sodio

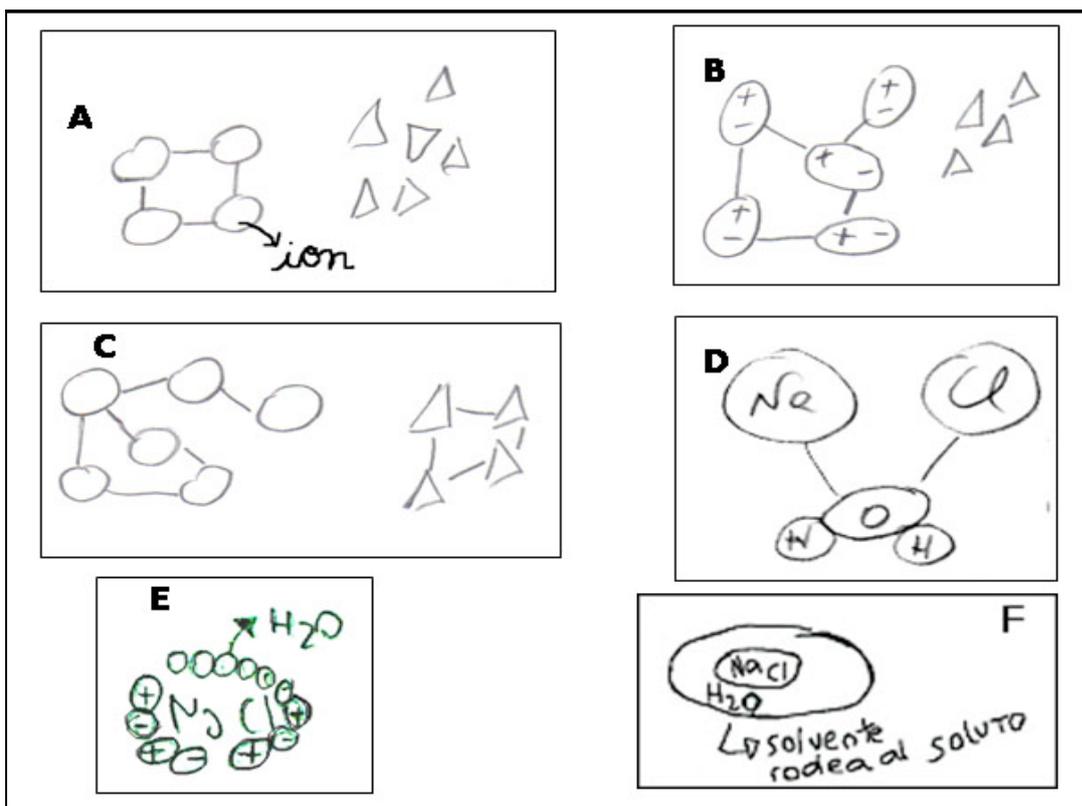


Figura 4.- Respuestas gráficas explicativas erróneas: Caso A, para el sistema cloruro de sodio-agua-ciclohexano; Casos B y C, para el sistema agua-ciclohexano; y Casos D, E y F, para el sistema agua-cloruro de sodio.

La figura 4 muestra las respuestas gráficas (A-F) correspondientes a:

Caso A: mezcla líquida heterogénea de cloruro de sodio + agua + ciclohexano.

Casos B y C: mezcla líquida heterogénea de agua + ciclohexano.

Casos D, E y F: mezcla líquida homogénea de cloruro de sodio + agua

La selección de estos ejemplos se realizó considerando que abarcan casos típicos de moléculas polares (agua), no polares (ciclohexano) e iones (cloruro de sodio). Se aprecia que las respuestas de la Figura 4 son representaciones gráficas erróneas desde el punto de vista científico. Cabe aclarar que, verbalmente, todos los alumnos identificaron correctamente el

tipo de sistema implicado (homogéneo o heterogéneo), como así también las clases de partículas presentes (iones, moléculas polares o no polares).

En el Caso A se observa que el estudiante dibujó por un lado, triángulos separados, y por otro, circunferencias que se encuentran unidas entre sí por rayas formando una figura tipo cuadrilátero. El estudiante agregó la palabra ion y la señaló mediante una flecha que parte de una de las circunferencias.

En el Caso B el estudiante dibujó elipses con signos matemáticos ("+" y "-"). Estas elipses están orientadas alternando los signos matemáticos opuestos y se hallan unidas mediante segmentos de líneas llenas. El dibujo presenta, además, figuras triangulares separadas entre sí en otro sector claramente diferenciado.

En el Caso C también se observan dos sectores; en uno se presentan circunferencias y en el otro, figuras triangulares; en ambos casos las figuras están unidas entre sí mediante segmentos de líneas llenas.

En el Caso D, cada circunferencia está rotulada con un símbolo químico en su interior. Las circunferencias correspondientes al sodio y al cloro están distanciadas, pero conectadas respectivamente a la circunferencia que simboliza el oxígeno del agua. En este dibujo, las uniones entre oxígeno e hidrógeno no están mostradas como rayas sino por contacto de las circunferencias.

En el Caso E el estudiante dibujó la fórmula NaCl rodeada por circunferencias pequeñas dentro de cada una de las cuales aparecen signos "+" y "-". Una flecha que sale de una de dichas circunferencias indica "H₂O"; de aquí se infiere que el estudiante quiere indicar que las pequeñas circunferencias de la ristra que rodea a las letras representan moléculas de agua.

El Caso F muestra dos elipses concéntricas, dentro de la elipse interna se ve la fórmula "NaCl" y dentro de la externa la fórmula del agua. Una aclaración verbal dice "*el solvente rodea al soluto*", una flecha aclaratoria que parte de la elipse externa parece representar que el agua rodea al cloruro de sodio.

Análisis de los resultados

Los dibujos mostrados en la figura 4, erróneos desde el punto de vista científico, fueron realizados por buenos estudiantes, comprometidos, voluntariosos y motivados. Una agrupación de estos errores en dos categorías nos permitirá, más adelante, un análisis de los mismos.

Dibujos de uniones intermoleculares

En los casos A, B, C y D los estudiantes dibujaron segmentos (rayas con líneas llenas) para simbolizar cualquier tipo de interacción: en A los segmentos son interacciones entre iones; en B son interacciones dipolo-dipolo (permanentes o transitorios); en C son fuerzas de London, y en D son interacciones dipolo-ion.

Los expertos utilizamos segmentos como código gráfico para señalar uniones interatómicas covalentes o uniones iónicas en un sólido, y rayas discontinuas para señalar uniones de tipo puente de hidrógeno, pero no

tenemos códigos gráficos explícitos para señalar fuerzas de London o uniones dipolo-dipolo que no sean las de puente hidrógeno (Galagovsky et al., 2008). Esta circunstancia puede ser origen de un obstáculo de aprendizaje: los estudiantes generalizarían el código de unión entre átomos como símbolo de otro tipo de uniones, tales como las derivadas de fuerzas intermoleculares. Por lo tanto, el segmento de raya continua sería un "señalador gráfico" (guardado en la MLP) elegido por estos estudiantes para componer su respuesta.

En otras palabras, proponemos que dada la compleja enseñanza verbalista sobre fuerzas intermoleculares y la omisión de códigos gráficos específicos para representarlas, los estudiantes (durante sus aprendizajes) habrían jerarquizado el señalador gráfico que verbalmente podemos caracterizar como proveniente de la generalización "las uniones se simbolizan mediante un segmento de línea continua". Frente a tener que organizar una respuesta, sus heurísticos de razonamiento y sus mecanismos de evocación (ver figura 1) los habrían llevado a recordar dicho señalador y a aplicarlo en una generalización errónea, para denotar cualquier tipo de unión entre partículas.

Dibujos de partículas

En sus respuestas a las consignas dadas durante la investigación los estudiantes identificaron correctamente los sistemas materiales a) y b) como heterogéneos, y el sistema c) como homogéneo. Explicaron verbalmente que el cloruro de sodio era un compuesto iónico, que el agua estaba formada por moléculas polares y el ciclohexano por moléculas no polares (Bekerman, 2007). Sin embargo, sus dibujos muestran diversidad de códigos para representar estas partículas:

Los iones fueron dibujados en el Caso A como circunferencias vacías, en el Caso D por circunferencias que adentro poseen el símbolo del átomo neutro correspondiente, y en los Casos E y F con la fórmula mínima. En ninguno de los casos se expresa la carga de cada ion.

El agua (epítome de molécula polar) fue representada en formas diferentes:

En el Caso A no fue dibujada.

En el Caso B se representó mediante óvalos con signos internos "+" y "-" en sus extremos opuestos. Esta representación se encuentra frecuentemente en la literatura para denotar moléculas polares pero sin marcar las uniones dipolo-dipolo con rayas, como aparecen en este caso.

En el Caso C puede observarse que se representa de forma similar la fase acuosa y la fase ciclohexano, expresando a las partículas sólo mediante figuras geométricas de forma diferente, de tal forma que no puede deducirse del dibujo cuál es cada fase.

En el Caso D cada átomo está representado por circunferencias con los símbolos químicos. Si bien el dibujo es incorrecto se percibe un código de proximidad diferentes para las partículas de "cloro" y "sodio" (las representaciones no indican iones) y la molécula de agua que está dibujada con la típica angulación entre los hidrógenos y el oxígeno.

En el Caso E, las moléculas de agua son pequeñas circunferencias con cargas positivas y negativas dispuestas alternadamente.

En el Caso F dos óvalos concéntricos señalan con letras a la sal y al agua. Una leyenda verbal hace referencia a que el solvente es el agua y rodea al soluto.

Las moléculas no polares de los casos A, B y C son figuras geométricas aisladas o conectadas mediante segmentos de líneas llenas.

Conclusiones parciales

En el marco teórico hemos señalado que la Química utiliza diferentes lenguajes expertos para expresar sus contenidos (Figura 2). El análisis de los dibujos de la Figura 4 nos está indicando que algunos buenos estudiantes están cometiendo errores al utilizar lenguaje gráfico para representar disoluciones o sistemas líquidos heterogéneos que involucran iones, moléculas polares y moléculas no polares.

Considerando que los estudiantes tenían una actitud comprometida y motivada hacia el estudio, y que hubo clases de repaso previas a la experiencia resultaba evidente que los errores no se debían a que ellos no habían estudiado.

Una amplia búsqueda bibliográfica nos llevó a profundizar en teorías de lingüística y de semiología de la imagen. Tomamos de ellas algunos elementos que, articulados con la teoría de la mente como sistema de procesamiento de la información, nos permiten a continuación proponer ideas para comprender la formación de las expresiones erróneas de los estudiantes.

Nuevos aportes teóricos para el análisis de resultados

Desde la lingüística

La comunicación entre sujetos humanos requiere que se compartan las significaciones de expresiones lingüísticas, que se conozcan códigos requeridos en los procesos de armado y decodificación de los mensajes.

En el mundo occidental, el campo de la lingüística (que se ocupa del análisis de cualquier lenguaje verbal no ideográfico) ha producido numerosos modelos teóricos (De Saussure, 1915; Jakobson, 1963; Chomsky, 1971; Climent, 1999). Si bien los diferentes enfoques están en continua evolución, todos admiten que todo lenguaje verbal consta de una serie de elementos constitutivos (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 palabras son de diferente tipo, según la función sintáctica que cumplan (sustantivos, verbos, adjetivos, etc.). Un conjunto de palabras se organiza en una oración cuando sigue las reglas sintácticas propias del idioma en el que se expresa. 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 compartidos para que ocurra comprensión entre los sujetos emisores y receptores de un mensaje.

Para cada palabra, su significado es un concepto abstracto, es el referente construido en la mente de los sujetos que comprenden esa palabra. El significado de cada palabra y la estructura gramatical de cada lengua han sido consensuados por la comunidad que habla dicha lengua. Cada palabra es un "código", entenderla implica poder decodificar ese significado; y cada oración debe tener un formato sintáctico que cumpla las reglas gramaticales de tal lengua.

¿Cómo se detecta una palabra? Se establece que una palabra es cada uno de los segmentos limitados por pausas en la cadena hablada o por espacios en la escritura. Una palabra puede aparecer en cualquier posición de la oración correctamente construida y está dotada de una función sintáctica. La permutación es el proceso por el cual un experto en una lengua identifica sus unidades o palabras. La palabra conserva su significación aún al ser modificada su ubicación en una oración.

Morfológicamente, las palabras se conforman por "monemas" (o morfemas): unidad mínima del lenguaje que forma parte de una palabra (Montaner y Moyano, 1998). Los monemas aportan datos para comprender el significado esencial de una palabra (y sus modificaciones). Por ejemplo, la palabra "planchadoras" está constituida por cuatro monemas: "planch" "ador" "a" "s". El primer monema, remite al significado del sustantivo plancha o del verbo planchar; el segundo al agente que está realizando la acción; el tercero al género de dicho agente (en este caso, femenino) y el cuarto, al número (en este caso, plural). Cada palabra podría considerarse un conjunto secuencialmente ordenado de monemas.

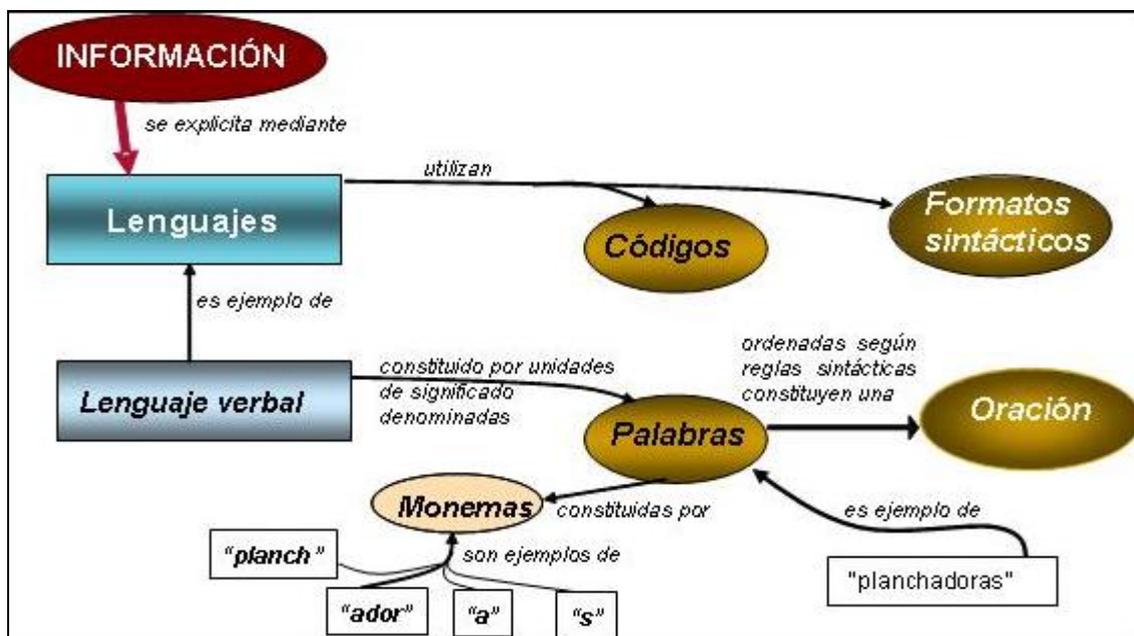


Figura 5.- Códigos y formatos sintácticos en el lenguaje verbal

Un conjunto de palabras ordenadas según las reglas sintácticas de cada idioma constituyen una "oración", que es la mínima unidad comunicacional, con significado completo. La figura 5 muestra lo presentado en este apartado.

Una oración puede estar formada por palabras (códigos) con significado entendible y puede estar bien construida, con el formato sintáctico apropiado según el idioma del que se trate, y, sin embargo, puede no tener significado como mensaje. Por ejemplo, la oración "*la puerta se esmera en soñar un discurso atragantado*" tiene un formato sintáctico apropiado (sujeto, verbo y predicado, etc.) pero carece de significado literal. Por lo tanto, cada oración puede ser analizada desde su aspecto sintáctico o desde su contenido semántico.

Desde la semiología de la imagen

El lenguaje visual y el lenguaje gráfico tienen en común que su representación externa está constituida por imágenes. La investigación acerca del uso y de la interpretación de imágenes como recursos comunicacionales se inició con fuerza desde mediados del siglo XX con el desarrollo la "semiología de la imagen". El concepto de Charles Peirce de producir "ideogramas" para lograr una comunicación universal a partir de códigos gráficos resultó un punto de partida importante para las investigaciones sobre la participación del lenguaje gráfico en la comunicación, luego de la Segunda Guerra Mundial (Delledale, 2001).

Barthes (1964) en sus investigaciones sobre el lenguaje visual aplicado al ámbito del cine y la publicidad, propuso que sus signos constitutivos tienen una estructura similar a la que se deriva del análisis del lenguaje verbal (Guiraud, 1996). Partiendo de los significantes, Barthes buscó los significados y, de allí, los "signos" que componen la imagen. Para buscar la naturaleza de los distintos elementos que componen el mensaje gráfico él utilizó el procedimiento clásico de la permutación que se propone en lingüística aplicado de la siguiente manera: cuando se transmite un mensaje utilizando lenguaje con imágenes o representaciones, el emisor de ese mensaje utiliza formas, colores, texturas, y otros elementos. La presencia de estos elementos no es ingenua para el receptor del mensaje. El principio de la permutación permite distinguir los elementos que componen una dada imagen (que convergen para construir un significado), dado que si un elemento autónomo es reemplazado por otro, cambia el significado de la imagen. De esta forma, propuso para el lenguaje gráfico la existencia de "iconemas" e "íconos".

Un iconema es el homólogo gráfico del monema. Según Barthes, un iconema tiene dos partes componentes: icónica y plástica, que son la figura y la textura, respectivamente. Por ejemplo, aplicado al lenguaje gráfico de la Química, el componente icónico de un círculo puede representar una partícula, un átomo, un electrón, un orbital S, un protón, un neutrón, etc.; sin embargo, la misma figura con un componente plástico de textura de volumen esférico (que indica superficie e interior vacío o macizo) podría no ser apropiada para describir un orbital S o un electrón. Por otra parte, iconemas sueltos no tienen significación completa, así como no la tienen los monemas aislados).

Un ícono es el homólogo gráfico de la palabra; está formado por un conjunto de iconemas, y tiene un mensaje. La Figura 6 muestra claramente esta situación: en su parte (a) se reconocen iconemas sueltos, sin sentido

de conjunto; mientras que estos iconemas reunidos de la particular manera presentada en 6 (b) son el ícono de un rostro con gesto de alegría.

Un dibujo es una composición de uno o más íconos, podríamos decir que es una "oración icónica", en correspondencia con el concepto de oración como formato sintáctico para el lenguaje verbal. Una oración icónica es un dibujo formado por íconos que están organizados siguiendo una composición gráfica determinada por el experto que diseñó el mensaje completo. El análisis semiótico de los dibujos es más complejo que el análisis del lenguaje verbal: si bien ambos reconocen a las palabras y a los íconos como códigos de las unidades de significación, respectivamente, y a monemas e iconemas como sus partes componentes, el lenguaje verbal es discontinuo, pero en el lenguaje gráfico es complejo establecer claramente los íconos discretos dentro de la composición gráfica completa. Es decir, en el lenguaje verbal las palabras se distinguen unas de otras y son reconocibles como unidades de significado pues su permutación en la oración altera el significado de la misma. El lenguaje gráfico, en cambio, es continuo (Colle, 1999) y su segmentación en íconos no es siempre evidente.



Figura 6.- Diferencia entre iconemas e íconos, según Barthes (1964)

La figura 7 muestra las partes componentes del lenguaje gráfico, conservando la estructura del esquema presentado en la figura 5 para el lenguaje verbal.

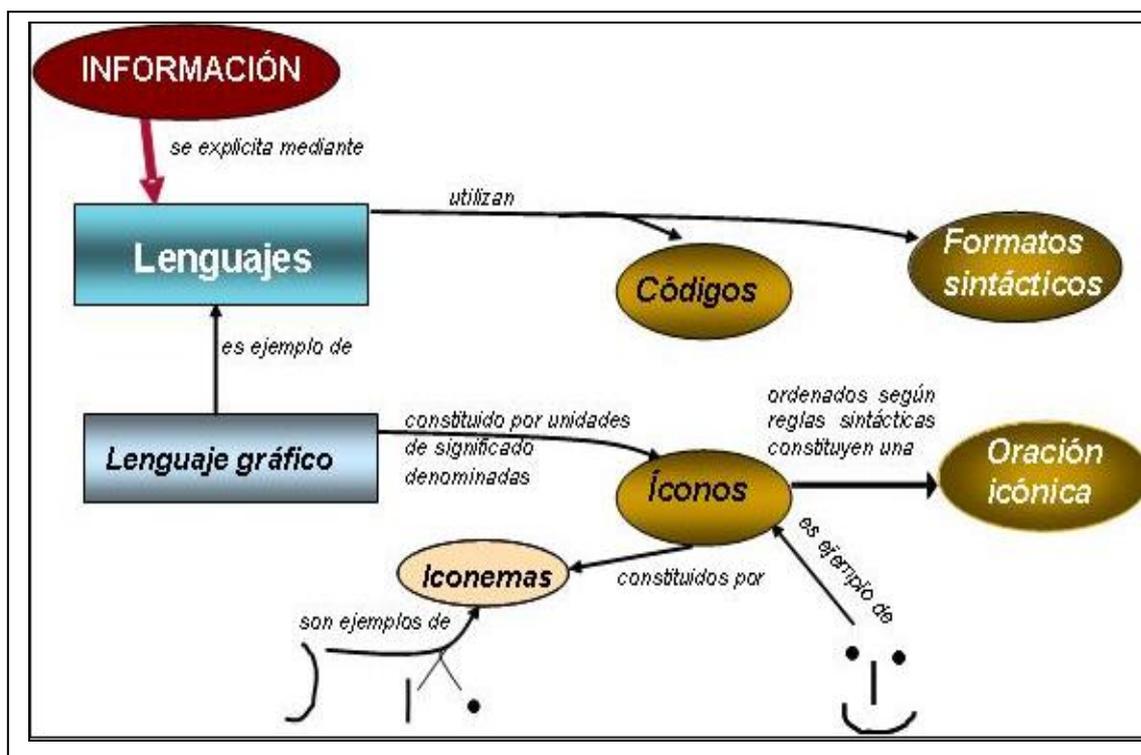


Figura 7.- Códigos y formatos sintácticos en el lenguaje gráfico.

Del lenguaje gráfico a los significados químicos

El aspecto sintáctico de cada lenguaje es la parte explícita del discurso; es aquella estructura de la comunicación que todos pueden apreciar o percibir por sus sentidos. El aspecto semántico del lenguaje es, en cambio, la significación a la que cada sujeto remite cada parte o el todo de una comunicación (Bruner, 1995). La significación que se da a las palabras, a las oraciones o a los dibujos es algo que ocurre "dentro de la cabeza" de los sujetos. Esta destreza cognitiva no se puede "ver" ni percibir mediante los sentidos (Galagovsky et al., 2003; Galagovsky, 2004a, b). La consecuencia directa de estas afirmaciones previas es que frente al mismo dibujo (explícito), un experto puede otorgarle un significado totalmente diferente del que puede otorgarle un novato (Galagovsky et al., 2008).

Los aportes de la semiología de la imagen de Barthes (1964) presentados en los párrafos anteriores, nos permiten desglosar elementos constitutivos de las respuestas gráficas erróneas de los estudiantes, mostradas en la Figura 3. Proponemos trasladar los conceptos de "iconemas", "ícono" y "oración icónica" al discurso científico de la Química, identificando a éstos como "iconemas químicos", "íconos químicos" y "dibujos o representaciones concretas" (Galagovsky y Adúriz Bravo, 2001, Galagovsky et al., 2008), respectivamente.

La figura 8 ejemplifica esta correspondencia: en su parte (a) se muestran círculos, circunferencias, óvalos y segmentos, de diferentes tamaños y texturas que así, aislados, no representan para los expertos conceptos determinados.

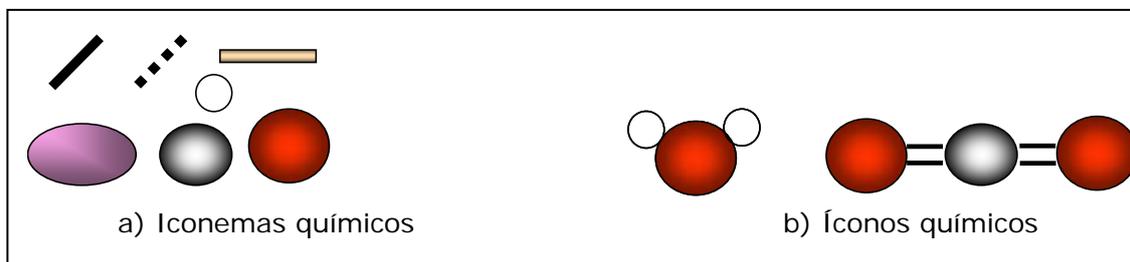


Figura 8.- Adaptación de los términos iconema e ícono del lenguaje gráfico, al los conceptos de "iconemas químicos" (a) e "íconos químicos" (b) lenguaje gráfico de la Química.

Los iconemas químicos son polisémicos para un experto; por ejemplo, una circunferencia aislada puede indicar un átomo, una molécula, una partícula y hasta un orbital S. En la Figura 8 (b) la composición gráfica de estos elementos organizados de una cierta forma consensuada ya son reconocidas con el significado de la estructura de una molécula de agua (izquierda en la figura) y de una molécula de dióxido de carbono (derecha en la figura) para un sujeto que sabe Química, y por lo tanto, adquieren significado como íconos de dichas moléculas. A este tipo de unidades de significado las denominamos, por lo tanto *íconos químicos*.

Una oración icónica en Química es un dibujo complejo, una "representación gráfica concreta" (Galagovsky y Adúriz Bravo, 2001) constituida por uno o más íconos químicos.

La figura 9 muestra ejemplos de estas tres categorías del lenguaje gráfico en Química:

(a) iconemas químicos;

(b) cuatro íconos químicos diferentes (un catión, una molécula polarizada, un movimiento browniano y un núcleo bencénico);

(c) dos oraciones icónicas (la estructura molecular de un cristal de hielo y la estructura de una membrana plasmática).

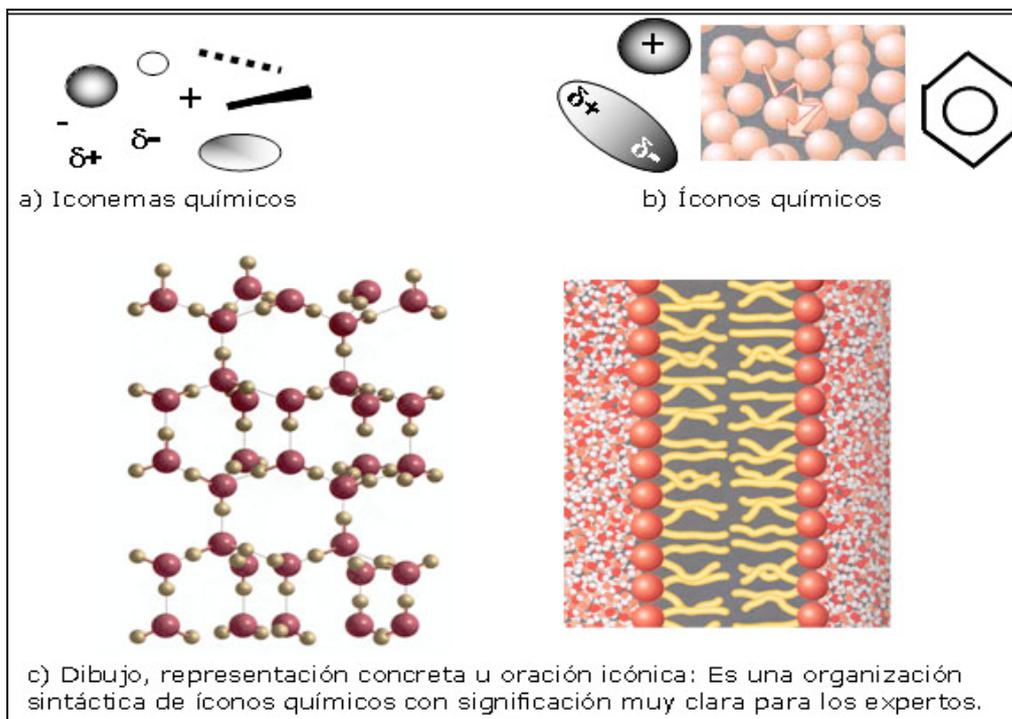


Figura 9.- Discriminación de iconemas químicos, íconos químicos y oración icónica, dentro del lenguaje gráfico de la Química.

En las dos oraciones icónicas de la figura 9c los expertos distinguen íconos químicos como moléculas de agua, puentes de hidrógeno, fosfolípidos, etc. Más aún, sendas representaciones pueden considerarse como traducciones en lenguaje gráfico de las respectivas afirmaciones verbales: "en el cristal de hielo las moléculas de agua se ordenan formando hexágonos por interacciones de puentes hidrógeno entre sectores con densidad electrónica positiva (hidrógenos) y sectores con densidad electrónica negativa (oxígenos)"; y " la membrana plasmática es una bicapa de fosfolípidos orientados de tal forma que la parte lipídica (no polar) de las moléculas se orienta hacia el interior de la bicapa, y las cabezas polares hacia el exterior de la misma permitiendo interacciones hidrofílicas con los medios acuosos circundantes".

Si analizamos la oración icónica de la figura 9c, izquierda, podemos suponer que a un novato le requerirá esfuerzo de memoria y tiempo el reconocer allí los agrupamientos de iconemas químicos (percibe esferas de dos colores y tamaños diferentes, rayitas continuas y rayitas más débiles y entrecortadas) que permiten identificar los respectivos íconos químicos. Un

experto, en cambio, reconoce en ese dibujo rápidamente las moléculas de agua y las diferencias entre uniones interatómicas o intermoleculares.

La figura 10 presenta una red conceptual (Galagovsky, 1999) con la complejidad de elementos teóricos que proponemos existe dentro del lenguaje gráfico de la Química, así como su relación con las habilidades cognitivas entre expertos y novatos en relación al procesamiento de dicha información. A continuación plantearemos cómo iconemas químicos aprendidos en forma descontextualizada por estudiantes novatos habrían operado como obstáculos epistemológicos y originado las respuestas erróneas de la figura 4.

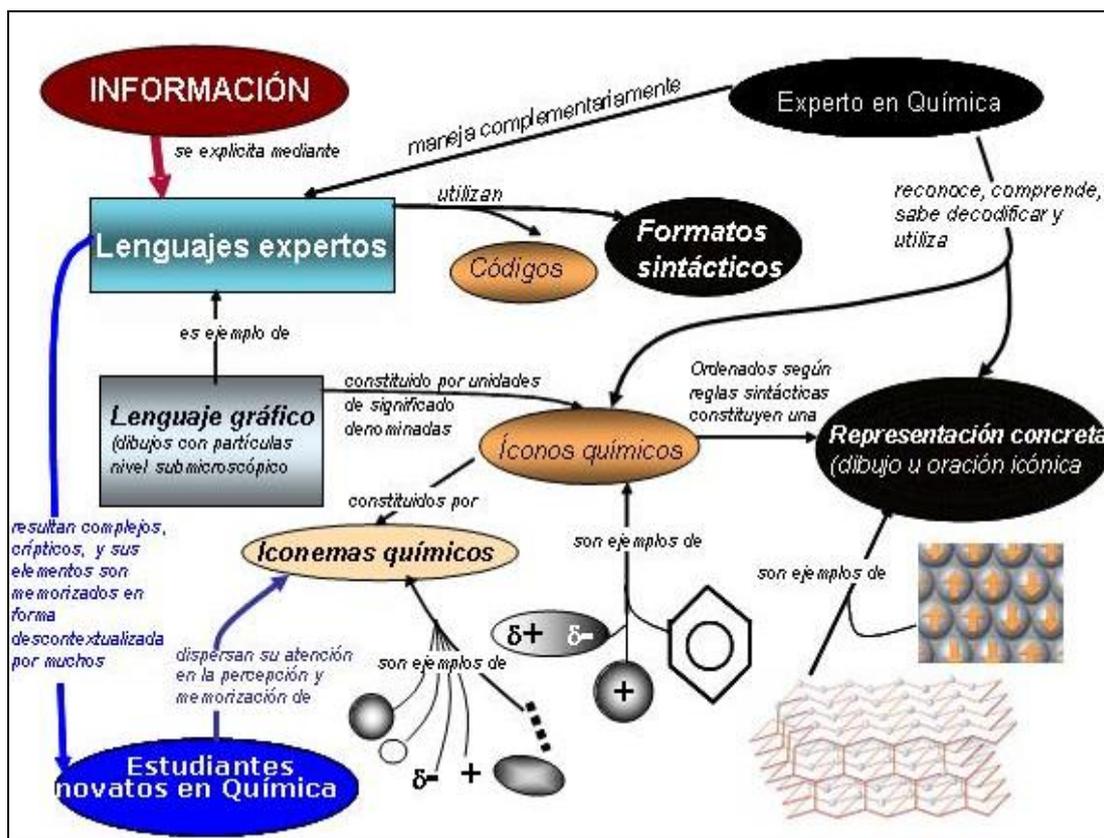


Figura 10.- Red conceptual que enmarca las capacidades diferentes de expertos y novatos frente a la complejidad del lenguaje gráfico de la Química.

Lenguajes científicos: complementarios para los expertos, mundos diferentes para los novatos

El marco teórico del SPI resumido en la figura 1 y la discriminación conceptual sobre lenguajes recomendadas en las figuras 3, 5 y 10, nos permiten proponer interpretaciones sobre el origen de las respuestas erróneas presentadas en la figura 4.

El punto central de la comparación entre expertos y novatos remite a considerar que el experto percibe cada ícono químico como la unidad mínima significativa del lenguaje gráfico (un "bit" de información gráfica); mientras que para un novato, la percepción de los iconemas químicos sería

el mundo donde se dispersa su atención. Además, el experto conoce la significación del vocabulario específico del lenguaje verbal de la Química y es capaz de realizar correspondencias complementarias de significados con sus traducciones al lenguaje gráfico.

En otras palabras, el estudiante novato detiene su atención en los iconemas químicos, en sus aspectos icónicos y/o plásticos. Su MCP se ve saturada por la información gráfica y verbal que recibe como enseñanza, gran parte de la cual, además no es comprendida y, por lo tanto, su jerarquización para ser guardada en la MLP resulta idiosincrásica. Se produciría, entonces un guardado en la MLP con deficiente significación y con una señalización personal (ver figura 1). Durante procesos de evaluación diferentes a los que sólo demandan una repetición memorística de lo enseñado, la evocación traería a la MT aquellas asociaciones anzuelo-señalador personales, con las cuales, mediante heurísticos, se reorganizarían las respuestas idiosincrásicas.

Proponemos que durante los comienzos de su aprendizaje, un alumno novato en Química pone énfasis en aspectos parciales de la información que recibe: por ejemplo, guarda en su MLP el iconema químico de "rayas para simbolizar uniones" en forma descontextualizada como una imagen visual aislada, o la enmarca en un contexto verbal generalizador inadecuado como "todo tipo de unión se dibuja con una raya". Al querer elaborar una respuesta frente a preguntas como las realizadas en esta investigación, estas señalizaciones guardadas en la MLP se hacen accesibles a la MT y conducen a errores.

Proponemos, además, que el discurso de la Química está formado complementariamente por diferentes lenguajes (ver Figura 2), por lo tanto, sus complejas explicaciones expertas involucran traducciones entre lenguajes. ¿Qué es traducir discursos? Entre las muchas definiciones establecidas parece particularmente aceptable la propuesta por Catford (1965): "La traducción es la sustitución del material textual de una lengua por material textual equivalente de otra". Para un traductor el problema fundamental será el de buscar equivalentes que produzcan en el lector el mismo efecto que el autor pretendía causar con el texto original. Generalmente se acepta que no se traducen significados, sino mensajes, por lo que traducir cada palabra no garantiza la comunicación del significado correcto de una oración. Para ser bien traducido, un mensaje deberá ser contemplado en su totalidad.

Los expertos en Química efectuamos traducciones entre el lenguaje verbal, el de fórmulas químicas, el gráfico, etc. Estas necesarias traducciones tienen la intención de favorecer la comprensión de los conceptos científicos; sin embargo, podrían estar aumentando el número de obstáculos epistemológicos de aprendizaje en los estudiantes novatos. Esta situación da sustento a los resultados de investigación relevados por Justi y Gilbert (2002) que señalan que los estudiantes no aprecian que se les enseñe con diferentes modelos o modos de representación.

Veamos ejemplos de cómo se aplican los marcos teóricos precedentes a la interpretación de los errores mostrados en la figura 4:

En los dibujos de los Casos A, B, C y D, se aplica indiscriminadamente el iconema gráfico de unión entre átomos (segmento de línea llena) para fuerzas inter-partículas.

En los Casos A y D se utiliza el iconema circunferencia (sin o con letras dentro) para simbolizar iones, sin discriminar sus cargas opuestas e igualando sus tamaños.

En los dibujos E y F, encontramos que en la traducción a lenguaje gráfico, el señalador verbal "el solvente rodea al soluto" desplaza a otros señaladores tales como "los iones se separan al disolverse".

En la tabla 1 se resumen los errores de los dibujos de los estudiantes correlacionándolos con elementos aislados correctos, tanto del lenguaje gráfico como del lenguaje verbal. Estos elementos correctos, presentes en la bibliografía (Aldabe., 1999; Alegría, 1999; Candás, 2000; Del Fávero, 2001), habrían sido evocados como señaladores y utilizados inadecuadamente cuando los estudiantes construyeron sus respuestas idiosincrásicas.

En resumen, proponemos que las respuestas erróneas de la Figura 4, fueron generadas en la MT de los respectivos estudiantes mediante heurísticos que evocaron aprendizajes aislados y descontextualizados. Estos recuerdos serían señaladores guardados en sus MLP; se corresponderían con información gráfica que habrían capturado como importante (durante el momento de la enseñanza del tema), sin una comprensión cabal de sus significados.

Casos de la figura 4	Errores al expresar dibujos submicroscópicos en Química	Señaladores gráficos (SG) o verbales (SV) correctos
A, B, C, D	Segmento de raya continua para señalar fuerzas intermoleculares.	SG: segmento de raya continua sólo para dibujar uniones entre átomos.
E, F	El compuesto de fórmula NaCl parece indicar cloruro de sodio disuelto en agua.	SG: el compuesto fórmula NaCl se utiliza en lenguaje de fórmulas.
D	Iones cloruro y sodio disueltos sin sus cargas netas	SG: círculos con símbolos químicos en su interior representan átomos.
E	El compuesto de fórmula NaCl rodeado de tantas moléculas de agua como permite el espacio en derredor.	Traducción a SG del SV: "El solvente rodea al soluto"
F	Dibujo de óvalos concéntricos que no discriminan representaciones de partículas	Traducción a SG del SV: "El solvente rodea al soluto"

Tabla 1.- Elementos pertenecientes a evocaciones de señaladores correctos recontextualizados incorrectamente en las respuestas de la figura 4.

Cabe tomar conciencia sobre que los señaladores gráficos o verbales correctos de la tabla 1 provienen del propio discurso erudito (de docentes y de textos de Química). Esto significa que los errores de los estudiantes no necesariamente provendrían de ideas alternativas surgidas de la experiencia cotidiana sino, también, de dificultades en el procesamiento de la información erudita.

Haber reconocido y discriminado la existencia de iconemas químicos o íconos químicos según sea el lector experto o novato, significa asignar un valor diferente a la habilidad cognitiva de asociación *significante-significado*, según sea la experticia del sujeto que debe decodificar el dibujo. Es evidente que al reconocer íconos químicos como unidades de significados, un experto puede procesar la información de un dibujo (ver Figuras 9b y c) como constituido por menor cantidad de bits de información.

La interpretación que realizamos sobre cómo mecanismos cognitivos podrían originar las respuestas erróneas de los estudiantes sería consistente con la evidencia de sub-partes correctas en dichas respuestas. Estas sub-partes podrían corresponderse con iconemas químicos correctos, así como palabras o afirmaciones verbales correctas, pero que han sido utilizados incorrectamente en el armado de las mismas. Investigaciones recientes en psicología experimental sobre la cognición avalarían que el aprendizaje dependería críticamente de las condiciones iniciales de procesamiento de información (Diana et al., 2008).

Conclusiones

La figura 10 presenta una red conceptual en la que consideramos una discriminación de elementos propios del lenguaje gráfico en Química. Nuestra investigación sugiere que los docentes debemos tomar conciencia sobre cómo a partir de nuestro complejo discurso erudito los estudiantes novatos pueden tomar rasgos aislados de los lenguajes expertos, estableciendo generalizaciones incorrectas, categorizaciones idiosincrásicas, o realizando traducciones erróneas entre ellos.

La discriminación en iconemas químicos e íconos químicos que se propone en este trabajo define a los expertos como aquéllos que identifican agrupamientos de elementos aislados del lenguaje gráfico (iconemas químicos) dándoles inmediatamente un significado único y contextualizado, en íconos químicos. Los novatos, en cambio, procesarían cada elemento por separado, complicando y desbordando la capacidad de sus MT, y, por lo tanto, disminuyendo grandemente su capacidad de aprender con comprensión. Consideramos que esta discriminación conceptual aporta ideas para contribuir al mejoramiento de la comunicación entre los docentes expertos y sus alumnos, hecho importante para el logro de la alfabetización científica de la población (Osborne y Dillon, 2008).

El marco teórico presentado en este trabajo permite analizar errores de los estudiantes como provenientes de mecanismos cognitivos normales de guardado y recuperación de información compleja perteneciente al discurso de la Química. Este análisis da soporte a las propuestas de Talanquer (2006) y Müller (1991), quienes afirman respectivamente que *"cuando la búsqueda de respuestas no apela a conocimientos totalmente memorísticos, los estudiantes responden mediante heurísticos"*, y que *"todo sujeto responde completando el entendimiento con información que debió haber sido"*.

Flores y Gallegos (1999) han destacado que frecuentemente no se tiene en cuenta durante la enseñanza que el logro del cambio conceptual en los estudiantes requiere tiempo. Nuestro aporte subraya este aspecto: los

variados lenguajes del discurso de la Química conducirían a una sobrecarga de los sistemas de procesamiento de información de los estudiantes novatos. Desde la Didáctica de las Ciencias, este enfoque es un aporte adicional para el reconocimiento de obstáculos que impiden cambios conceptuales y representacionales en los estudiantes (Pozo y Flores, 2008).

Finalmente, la metodología presentada en este trabajo ayuda a reconocer que respuestas erróneas de los estudiantes no provendrían sólo de "ideas erróneas persistentes", o de dificultades conceptuales para comprender el mundo químico a nivel de partículas (Johnstone, 1993; Richardson, 2005; Kelly y Jones, 2008); podrían provenir, también, de un procesamiento poco eficiente de la información presente en el propio discurso explicativo de la Química escolar.

Referencias bibliográficas

- Aldabe, S. (1999), *Química 1, fundamentos*. Buenos Aires: Colihue.
- Alegria, M. (1999). *Química 1-Polimodal*. Buenos Aires: Santillana.
- Barker, V. *Beyond Appearances: Students' Misconceptions about Basic Chemical Ideas*; Royal Society of Chemistry: London, 2000. En: <http://www.chemsoc.org/networks/learnnet/miscon.htm> Consultado en enero de 2006.
- Barthes, R. (1964). Retórica de la imagen. En *Lo obvio y lo obtuso* (pp. 29-47). Barcelona: Paidós.
- Bekerman, D. (2007). Tesis Doctoral: La utilización de la imagen en los procesos de Enseñanza y Aprendizaje de Química Orgánica. *Universidad de Buenos Aires. Facultad de Farmacia y Bioquímica*.
- Bekerman, D. y Galagovsky, L. (2007) ¿Ideas Previas Sobre El Tema Soluciones? Un Nuevo Marco Teórico Para La Investigación. *V Jornadas Internacionales para la Enseñanza Preuniversitaria y Universitaria de la Química*, Santiago de Chile, Chile.
- Bruner, J. (1995) *Acción, pensamiento y lenguaje*. Madrid: Alianza Editorial.
- Candás A. (2000): *Química*. Buenos Aires: Estrada.
- Catford, J.C. (1965) *A Linguistic Theory of Translation*, Oxford: Oxford University Press.
- 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*. Estudios de Lingüística Española (ELIEs).
- Colle, R., (1999); *El contenido de los mensajes icónicos*, en Revista Latina de Comunicación Social, 18, La Laguna (Tenerife). En: <http://www.ull.es/publicaciones/latina/a1999gjn/76coll/76analim1/aci1.htm> Consultado en octubre de 2006.

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.

Diana, R.A, Yonelinas, A.P. y Ranganath, C. (2008). The Effects of Unitization on Familiarity-Based Source Memory: Testing a Behavioral Prediction Derived From Neuroimaging Data. *Journal of Experimental Psychology Learning, Memory, and Cognition*, 34, 4, 730–740.

Del Fávero. (2001): *Química activa*. Buenos Aires: Puerto de Palos

Ericsson, K.A. y H.A. Simon, (1999) *Protocol Analysis: Verbal Reports as Data*, Cambridge: MIT Press.

Ericsson, K.A. (2006). Protocol analysis and expert thought: Concurrent verbalizations of thinking during experts' performance on representative task. En K.A. Ericsson, N. Charness, P. Feltovich, y R.R. Hoffman (Eds.). *Cambridge handbook of expertise and expert performance* (pp. 223-242). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Flores Camacho, F. y Gallegos Cázares, L. (1999) Construcción de conceptos físicos en estudiantes. La influencia del contexto. *Perfiles Educativos [en línea] 1999*. En <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=13208606> Consultado en noviembre de 2008.

Galagovsky, L. (1999). *Redes Conceptuales. Aprendizaje, comunicación y memoria* (2da. edición). Buenos Aires: Lugar Editorial.

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. (2007). 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, 66-87.

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

Galagovsky Lydia, Di Giacomo María Angélica y Castelo Verónica (2009). Modelos vs. dibujos: el caso de la enseñanza de fuerzas intermoleculares. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8, 1, 1-22.

Giúdice, J. y Galagovsky (2008). Modelizar la naturaleza particulada de la materia: una propuesta para escuela media. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7, 3, 629-657.

Guiraud, P. (1996) *La semiología*. México: Siglo XXI.

Hilton, D. (2002) *The Cognitive Basis of Science*, Carruthers, P., Stich, S., Siegal, M, Eds. (pp. 211–231). Cambridge: Cambridge University Press.

Jakobson, R. (1963) *Essais de Linguistique générale*, París: Minuit.

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. y 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 Research – Based Practice*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Kelly, R.M y Jones, L.L. (2008). Investigating students' ability to transfer ideas learned from molecular animations of the dissolution process. *Journal of Chemical Education*, 85, 2, 303-309.

Leighton, J.P., Sternberg, R.J., Eds (2004). *The Nature of Reasoning*. Cambridge University Press: Cambridge.

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

Mayer, R.E. (1985). *El futuro de la psicología cognitiva*. Madrid: Alianza.

Miller, G.A. (1956) The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97.

Montaner, P. y R. Moyano (1998). *¿Cómo nos comunicamos?* México: Addison Wesley Longman.

Müller, H. M. (1991). The phylogenetic development of cognitive processes and the origin of human language capability. *The German Journal of Psychology*, 16, 205-206.

Novak, J.D. (1998). *Conocimiento y Aprendizaje. Los mapas conceptuales como herramientas facilitadoras para escuelas y empresas*. Madrid: Alianza Editorial.

Osborne, J. y Dillon, J. (2008). *Science Education in Europe: Critical Reflections. A report to the Nuffield Foundation*. London: King's College.

Pozo, J.I. (1997). *Teorías Cognitivas del Aprendizaje*, 5ta edición, Madrid: Editorial Morata.

Pozo, J.I y Flores, F. (coord) (2008) *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia*. Boadilla del Monte: Visor.

Richardson, J.T. (2005). *Imágenes mentales* (pp. 59-61.) Madrid: Aprendizaje Visor.

Taber, K. (2002). *Chemical Misconceptions—Prevention, Diagnosis and Cure, Volume I: Theoretical Background*; London: Royal Society of Chemistry.

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

Tversky, A.; Kahneman, D. (1983) *Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases*. Cambridge: Cambridge University Press.

Todd, P.M.; Gigerenzer; G. (2000) How can we open the adaptive toolbox? *Behavioral and Brain Sciences*, 23, 727–780.