

ANÁLISIS DE REPRESENTACIONES GRÁFICAS EN LIBROS DE TEXTO DE QUÍMICA

Ricardo López A.*
Jhon Alexander Saldarriaga N.**
Óscar Eugenio Tamayo A.***

RESUMEN

El artículo presenta los resultados del análisis de gráficas contenidas en libros de texto en el tema de enlace químico. Se realizó un análisis tanto de las imágenes presentadas como de los textos que las acompañan. Las categorías más importantes estudiadas fueron: figura que induce a errores, errores contextuales, conexión texto - figura y secuencialidad, entre otras. Hallamos deficiente relación entre las figuras representadas y los contenidos que las siguen, de igual manera, no se presenta secuencialidad gráfica ni de contenido, de acuerdo con el desarrollo de los conceptos en la literatura científica. La mayoría de las figuras se presenta en el texto desconociendo algunos aportes científicos en el campo del enlace químico.

PALABRAS CLAVE: representaciones gráficas, formación de conceptos, enlace químico.

ANALYSIS OF GRAPHIC REPRESENTATIONS IN CHEMISTRY TEXT BOOKS

ABSTRACT

The article presents the results of the graphs analysis in Chemistry text books regarding chemical bonds. The images presented, as well as the texts that accompany them, were analyzed. The most important categories studied were: figures that induce errors, contextual errors, text - figure connection and sequence,

* Licenciado en Biología y Química. Universidad de Caldas. E-mail: riloac@yahoo.com

**Licenciado en Biología y Química. Universidad de Caldas. E-mail: jalex293@yahoo.com.ar

***Profesor Universidad de Caldas. E-mail: oscar.tamayo@ucaldas.edu.co

Recibido 4 de diciembre de 2007, aprobado 9 de marzo de 2008.

among others. A deficient relation between the figures represented and the contents that followed them was found. Additionally, there is no graphic or content sequence, according to the development of the concepts in the scientific literature. The majority of the figures are presented in the text, without knowing some scientific contributions in the field of chemical bonds.

KEY WORDS: graphic representations, concept formation, chemical bond.

Las representaciones y la multimodalidad de la comunicación

Las representaciones hacen referencia a todas aquellas construcciones de sistemas de expresión y representación que pueden incluir diferentes sistemas de escritura, tales como números, notaciones simbólicas, representaciones tridimensionales, gráficas, redes, diagramas, esquemas, etcétera. Cumplen funciones de comunicación, expresión, objetivación y tratamiento. Hoy en día se considera que no es posible estudiar los fenómenos relacionados con el conocimiento sin recurrir a la noción de representación. Se admite, además, que la pluralidad de sistemas semióticos permite diversificar las representaciones de un mismo objeto y, de esta forma, amplía las capacidades cognitivas de los sujetos y, por tanto, sus representaciones mentales. Otro aspecto importante hace referencia al cambio de las formas de representación debido a una mayor economía en el tratamiento.

La creciente atención que en los últimos años ha captado la producción e interpretación de representaciones externas ha llegado al ámbito de la educación en ciencias. En la actualidad se reconoce la importancia, para el logro de aprendizajes en profundidad, de la construcción de múltiples representaciones externas de los conceptos estudiados. De igual manera, ha permitido tomar cierta distancia de los procesos más convencionales en cuanto al uso e interpretación de textos y gráficas y pasar a darle preponderancia a los procesos de producción y transformación de las representaciones. En otras palabras, cobran atención, en la actualidad, todos aquellos procesos encaminados a comprender en detalle los mecanismos que facilitan u obstaculizan la construcción de sistemas externos de representación y la manera como estudiantes y profesores interactúan con ellos en los procesos de aprendizaje y de enseñanza.

En el conocimiento de los procesos de construcción y transformación de representaciones intervienen diferentes tipos de actividades, dentro de las que se destacan las de formación, como aquellas representaciones de algo a partir de un conjunto de caracteres e intencionalidades; las de tratamiento, cuando una transformación produce otra dentro de un mismo registro; y las de conversión, cuando la transformación produce otra representación en un registro distinto al de la representación inicial, por ejemplo, en el caso de la transformación analógica a la digital.

Son frecuentes las publicaciones que tienen como propósito central entrar a precisar qué se entiende por representación, cómo se construyen las representaciones, cómo cambian, cuál es el papel de la educación en su transformación y cuáles son las relaciones entre las representaciones que tienen los sujetos sobre un objeto o un fenómeno y las representaciones sociales de éste. Desde la perspectiva de las ciencias cognitivas las representaciones son consideradas como cualquier noción, signo o conjunto de símbolos que representan algo del mundo exterior o de nuestro mundo interior. Estas representaciones son construidas tanto por científicos como por cualquier otro sujeto, en el primer caso obtendríamos una teoría científica y en el segundo, una teoría intuitiva acerca del mundo.

Nos podemos representar en nuestra mente algo que percibimos con nuestros sentidos, algo que vemos, olemos o sentimos, pero también nos podemos representar en la mente algo que nos imaginamos, por ejemplo, en este momento podemos construir una representación de un ángulo, de una recta, de un viaje, etcétera. Estos conjuntos de signos o de símbolos que representan algo pueden ser externos o internos. Por ejemplo, los mapas, los diagramas y los dibujos son tipos de representaciones externas que usamos permanentemente en nuestras vidas. De otra parte, el empleo, de palabras y de otras notaciones simbólicas de uso común, por ejemplo en los campos de la física, la química y las matemáticas, son representaciones externas o, más específicamente, representaciones semióticas.

El estudio sobre los tipos y funciones de las representaciones externas es de especial importancia para la enseñanza de las ciencias, no sólo por los múltiples lenguajes que hoy se emplean para representar los diferentes fenómenos sino, además, por la necesidad de reconocer que en la medida en que estudiantes y profesores empleen mayor número de representaciones de los conceptos que se enseñan y

se aprenden, los conceptos son aprendidos con mayor profundidad. (Duval 1999, Lemke 1997, Tamayo 2006)

Es claro que históricamente en la educación se le ha dado mayor importancia a los lenguajes oral y escrito, hasta el punto de considerarse que el significado se transfiere básicamente a través del lenguaje verbal. Actualmente, se reconoce la necesidad de tener en cuenta otros lenguajes y otros modos diferentes de comunicación que van más allá del lenguaje oral o escrito. (Jewitt et al., 1999, citado por Izquierdo y colaboradores, 2000)

En este interés, por reconocer otros lenguajes en la enseñanza de las ciencias, se observa un crecimiento importante del espacio dedicado en los libros de texto a las imágenes para representar de diferentes maneras los conceptos enseñados. Este crecimiento exponencial de las imágenes (Krees et al., 1998, Deforge, 1991) muestra un cambio en las relaciones entre imagen y lenguaje escrito. En los libros de texto de la década de los 40 las imágenes cumplían una función ilustradora, repitiendo la información que se daba por escrito (Barthes, 1977), mientras que en los libros de los años 90 es posible encontrar información que se da sólo por imágenes. Estos cambios apuntan hacia una transición en la conceptualización de la comunicación que va desde una visión unimodal de la comunicación centrada en la primicia del lenguaje verbal (tanto escrito como oral), hacia una visión multimodal de la comunicación basada en la utilización de distintos lenguajes (oral, escrito, imagen, sonido, acción, etc.), (Krees et al., en prensa. Citado por Izquierdo y colaboradores, 2000, p. 219)

“El problema que se plantea cuando se acepta que toda comunicación es en esencia multimodal consiste en conocer la función que puede tener cada modalidad comunicativa en el acto de comunicación y en la construcción de significados conjuntos. Así, nos podríamos preguntar si este enriquecimiento de modos de comunicación tiene una función simplemente estética o accesoria, y por tanto superficial, o bien tiene una función fundamental en la construcción de significados y por lo tanto en el aprendizaje. Las investigaciones realizadas por Jewitt han mostrado de manera convincente que cada modo de comunicación (visual, verbal y gestual, etc) tiene una función especializada dentro del acto comunicativo que se da en las clases de ciencias” (Izquierdo y colaboradores, 2000, p. 219).

Ahora bien, haciendo referencia a las gráficas y los esquemas, allí se presentan ciertos elementos con los cuales se facilita su comprensión, pero, para llegar

a esto, se necesita que el estudiante haga un esfuerzo mental para extraer el significado de cada elemento, para luego reunirlo en un todo que posea sentido y coherencia. Esto nos obliga a pensar en la comunicación multimodal como un elemento esencial para comunicar nuestras ideas y pensamientos a los estudiantes. Para este fin, son muy útiles los textos de ciencias en los cuales se hace uso del lenguaje multimodal, teniendo gran importancia el lenguaje escrito y el visual. Es claro, entonces, “que en los libros escolares la imagen se convierte en un elemento de extraordinaria importancia (Delannoy, 1998; Colás, 1989; Costa, 1990; Deforge, 1991e). Aunque son también muchos los autores que afirman que, en la mayor parte de los casos, la imagen asume un papel secundario en relación al texto: es el texto el que fundamentalmente aporta la información y el que determina el eje paradigmático del libro, siendo la imagen un elemento complementario”. Citados por Prendes, 1997, p. 3. (Buj, 1973; Maillo, 1973; Duchastel, 1978; Kozma, 1991; Terlow y Woudstra, 1993)

La dimensión gráfica del lenguaje

En la educación el uso de la representación gráfica es un complemento indispensable para la construcción de mensajes con sentido. Se reconoce la necesidad de captar la atención de los estudiantes mediante un lenguaje conocido y legible, para esto necesitamos expresar las ideas de los textos en un lenguaje que les resulte familiar a ellos, para que puedan captarlas claramente y luego expresarlas en lenguaje científico según el nivel educativo en que se encuentren. Es preciso que el estudiante aprenda a captar los mensajes visuales de una representación gráfica, para luego interpretarlos y emitir juicios coherentes de acuerdo con la información ofrecida por el gráfico, de tal manera que sea necesario en el contexto de la educación enseñar a los estudiantes, y a las personas en general, a decodificar la información contenida en las imágenes, con el propósito de lograr comprensiones profundas acerca de los aspectos estudiados.

Para generar imágenes en el cerebro, primero tenemos que haberlas percibido con los sentidos, éstos captan la forma, el color, el olor, el sonido y, en algunos casos, el sabor de los objetos. En términos generales, a partir de esta información sensorial, el cerebro establece relaciones con otros datos almacenados anteriormente y, de esta manera, construimos comprensiones acerca de los objetos que nos rodean o con los cuales interactuamos. En este proceso de comprensión, nos apoyamos de manera importante en el lenguaje visual y en uno de sus más significativos

contribuyentes, la imagen. Además de la imagen, en un gráfico se emplean los símbolos para darnos una idea clara del fenómeno.

Con el lenguaje visual gráfico pretendemos dar a entender alguna idea que bien puede haberse generado por procesos eminentemente reflexivos o por su vínculo directo con experiencias sensual-empíricas. En los dos casos antes mencionados la imagen se constituye en un aspecto determinante en los procesos comunicativos, los cuales son de vital importancia en el ámbito de la enseñanza de las ciencias. En esta línea de pensamiento, para que un gráfico pueda ser comprendido por un individuo, debe tener signos y símbolos que le permitan orientarse correctamente hacia el mensaje que quiere transmitir el gráfico. “La imagen es por tanto un objeto susceptible de ser analizado en sí mismo como signo con códigos específicos”. (Citados por Prendes, 1997, p. 2). (Metz, 1972b; Eco, 1977, 1979; Garrón, 1981)

Metodología

Esta investigación tiene como fundamento analizar el papel que cumplen las representaciones gráficas en libros de texto de Química, como facilitadoras del proceso de aprendizaje de los conceptos científicos en esta área del conocimiento. Para este fin se analizaron 36 representaciones gráficas relacionadas con el tema de enlace químico de dos libros de texto de Química de grado décimo de dos editoriales de reconocida trayectoria en el medio educativo colombiano, cuyas ediciones se ubican entre los años 2001 y 2003. El análisis realizado fue de tipo cualitativo, del cual resultaron diversas categorías que permitieron clasificar las figuras de acuerdo con las categorías y subcategorías que aparecen a continuación:

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍAS	DEFINICIÓN
1. Figura que Induce a errores	Falta ilustrar procesos en la figura	La representación gráfica no ilustra las etapas del proceso que son necesarias para comprender mejor la naturaleza del tema o concepto tratado.
	Presentación inadecuada de la figura	Se da cuando la representación gráfica no respeta los aportes el desarrollo del tema.
	Ausencia de elementos claves en la figura	Se presenta cuando a una representación gráfica le faltan elementos indispensables para interpretar adecuadamente el mensaje visual.
2. Errores contextuales		Se da cuando el desarrollo del tema no es coherente con la forma como se desarrolla el mismo en la literatura científica.
3. Secuencialidad	Poca secuencialidad en la estructura	Se da cuando las figuras que se utilizan en un tema en particular no siguen un orden lógico interno consecuente con el desarrollo conceptual del tema.

4. Conexión Texto – Figura	Buena relación texto - figura	Se presenta cuando la información que aparece en el texto está representada en la figura. Existencia de complementariedad texto - figura.
	No hay relación texto - figura	Se presenta cuando la información que aparece en el texto no está representada en la figura, es decir, no existe correspondencia entre lo expuesto por el texto y lo ilustrado en la figura.
	El texto desborda a la figura	Se da cuando cierta información del texto no está representada en la figura.
	Relación parcial texto - figura	Se presenta cuando el texto contiene información sobre la figura que no está representada en ella. En algunos casos también se puede presentar que ni en la figura ni en el texto aparezcan elementos necesarios para interpretar adecuadamente la figura.
	La figura desborda al texto	Se da cuando cierta información de la figura no aparece en el texto que corresponde a ésta.
5. Relación Pie de figura- figura	Contenido del pie de figura	Se da cuando el pie de figura no tiene información suficiente sobre la figura.
	Poca correspondencia pie de figura - figura	Se presenta cuando no existe correspondencia entre la información del pie de figura y lo ilustrado en la figura.
6. Convenciones	Errores en el uso de convenciones	Ocurre cuando se utiliza una convención cuyo significado no corresponde con lo que quiere representar en la figura. También puede ocurrir que a pesar de que la convención es consecuente con el fenómeno o concepto representado en la figura, se utiliza de manera diferente a como se ha definido en el lenguaje de las ciencias.
	Faltan convenciones	Se presenta cuando la figura carece de convenciones que facilitarían la interpretación del mensaje visual.
7. Relación Química–Vida Diaria		Se presenta cuando las figuras utilizadas muestran las aplicaciones de los conocimientos científicos para solucionar problemas surgidos en el diario vivir.
8. Ambientación estética		Representación gráfica que se utiliza para adornar el texto y poco aporta al desarrollo del tema.

Categoría	Subcategoría	%
Conexión texto – figura	Buena relación texto – figura	11,11
	No hay relación texto – figura	50
	Texto desborda a la figura	22,22
	Figura desborda al texto	2,77
	Relación parcial texto – figura	38,8
Convenciones	* Errores de uso	16,66
	* Falta de convenciones	41,66

Ambientación	Ambientación estética	8,33
Figura que induce a errores	Ausencia de elementos claves	19,44
	Presentación inadecuada	50
	Falta ilustrar procesos	38,88
Relación pie de figura – figura	Contenido pie de figura	33,33
	Poca correspondencia	19,44
Secuencialidad	Poca secuencialidad	22,22
Errores	Errores de contexto	30,55
Relación química – vida diaria	Relación Química – Vida diaria	11,11

Figura que induce a errores

Es frecuente encontrar que las diferentes representaciones que se emplean en los libros de texto, para la enseñanza de conceptos químicos, pueden inducir a errores por razones relacionadas tanto con la forma en la cual son representados los diferentes conceptos como por el contenido de estos mismos. Del total de las figuras analizadas referidas a la categoría *inducción a errores* encontramos que 38,8% de las figuras analizadas *no ilustra procesos*, asimismo, 50% tiene una *presentación inadecuada* y 19,4% adolece de *elementos claves*, tal como se aprecia en la Figura 1.

La Figura 1, tomada como ilustración en cuanto a la subcategoría *ilustración de procesos*, representa la formación del enlace entre el ion Na^+ y el ion Cl^- . En la figura se representan los átomos de Na y Cl como círculos concéntricos y las regiones que separan unos círculos de otros están diferenciadas por los colores verde, anaranjado y amarillo claros (estas regiones representarían las órbitas). El núcleo de estos átomos se representa por un pequeño círculo rojo. Los electrones están representados por pequeños círculos de color negro. Las flechas intentan mostrar la transferencia del electrón del Na al Cl para la formación de los iones Na^+ y Cl^- . El ión Na^+ se forma por la pérdida del electrón del átomo de Na. Este electrón pasa a formar parte de la región de color verde del átomo de Cl formándose así el ion Cl^- .

Consideramos que la Figura 1 nos ilustra algunas etapas y cambios energéticos del proceso de formación del enlace iónico entre el Na y el Cl. Las etapas son: la obtención de átomos aislados de Na y Cl y la unión de los iones Na^+ y Cl^- . Los cambios energéticos son: absorción de energía durante la remoción del electrón de valencia del átomo de Na, liberación de energía en la adición del electrón al átomo de Cl y liberación de energía en la unión de los iones para formar el enlace. De acuerdo con Pró, esta representación gráfica es económica, debido a que presenta sólo los aspectos justos para comprender el mensaje visual; pansémica, en cuanto a que permite diversas interpretaciones y vulgar, dado que la figura es habitual, no incluye cambios sustanciales frente a otras representaciones del mismo tema en textos del mismo nivel. (Pró 2003)

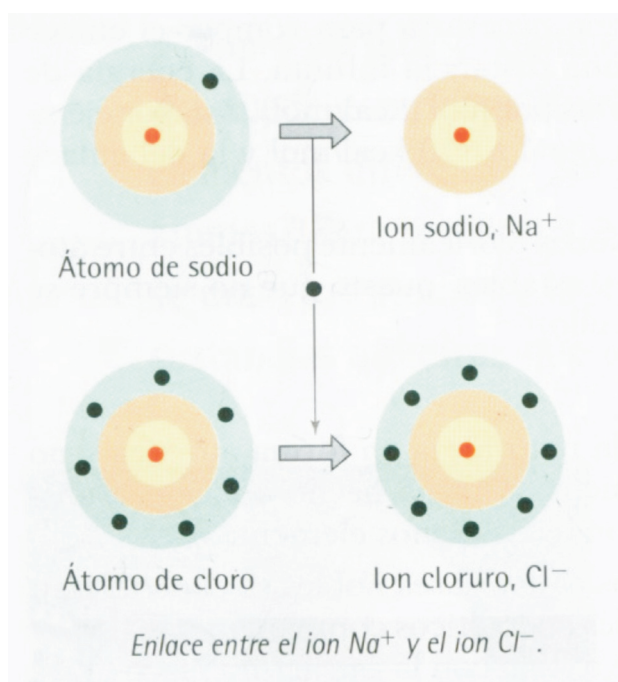


Figura 1. Representación de la formación de los iones sodio y cloruro. Es de destacar que en la figura no se muestra el proceso que se da, por ejemplo, en el paso del sodio a ion sodio. El 38,8% de las figuras analizadas no *ilustran procesos*.¹

¹ Las figuras presentadas son tomadas de los libros de texto de química facilitados por los editores, quienes conocían el propósito de la investigación.

Las ideas expuestas a continuación siguen el mismo orden que corresponde al proceso de formación del enlace iónico. Dicho orden es el siguiente: obtención de átomos de Na y Cl por suministro de energía; remoción del electrón de valencia del átomo de Na; adición del electrón al átomo de Cl; unión de los iones Na^+ y Cl^- para formar el enlace con liberación de energía. Frente a estos pasos generales para la formación de un enlace iónico encontramos que en la Figura 1:

A) No se muestra la obtención de átomos individuales de Na y Cl. El Na se presenta como un sólido, por lo tanto es necesario aplicar energía para separarlo en átomos de Na en estado gaseoso. Esto indica que esta etapa requiere energía para llevarse a cabo. El cloro es un gas y es necesario aplicar energía para disociarlo en átomos de Cl. Esta etapa también requiere energía.

B) No es clara la forma como se remueve el electrón de valencia del átomo de Na, puesto que la flecha que representa la transferencia del electrón no señala al átomo del cual es removido ni al átomo al cual es transferido. Asimismo, la figura no muestra el suministro de energía para remover el electrón de valencia del átomo de Na. Luego de obtener átomos de Na en estado gaseoso a partir de sodio sólido, cada uno de estos átomos está en capacidad de formar un enlace iónico. Como el sodio es un elemento metálico del grupo IA de la Tabla Periódica, tiene la tendencia a ceder el electrón de su último nivel (nivel 3) para obtener la configuración electrónica estable del gas noble más cercano. Esta configuración le permite formar enlaces iónicos principalmente con los elementos del grupo VIIA. Para remover este electrón es necesario suministrar energía, y esta energía se conoce como energía de ionización.

C) La figura no muestra la liberación de energía durante la adición del electrón al átomo de Cl. Luego de disociar al Cl_2 para obtener átomos de Cl en estado gaseoso, cada uno de estos átomos está en capacidad de formar un enlace iónico. Como el Cl es un elemento no metálico del grupo VIIA de la Tabla Periódica, tiene la tendencia a ganar electrones para adquirir la configuración electrónica estable del gas noble más próximo. Esta configuración le permite formar enlaces iónicos principalmente con los elementos del grupo IA. Durante la adición de este electrón se libera energía, la cual se conoce como afinidad electrónica.

D) En la figura no se representa la liberación de energía cuando los iones Na^+ y Cl^- se unen para formar el enlace. Durante la etapa de remoción del electrón del átomo de

Na se forma el ion Na^+ , igualmente, durante la etapa de adición del electrón al átomo de Cl se forma el ion Cl^- , ambos iones en estado gaseoso. Estos iones aislados son inestables. Como los iones tienen cargas opuestas, al acercarse, se establece entre ellos una atracción electrostática que permite formar el enlace iónico con lo cual ganan estabilidad. Cuando los iones Na^+ y Cl^- se unen por enlace iónico se libera energía, logrando así mayor estabilidad del compuesto formado.

Con respecto a las etapas del proceso de formación del enlace iónico entre el Na^+ y Cl^- , encontramos que al no ilustrar la obtención de átomos de Na y Cl a partir de estos elementos en su estado natural podría inducir a pensar al lector que estos elementos se encuentran en la naturaleza como átomos simples y no como átomos o moléculas agrupados formando sólidos o gases. Al no mostrar la unión de los iones Na^+ y Cl^- se puede dar a entender que cuando estos iones se forman, permanecen aislados e inestables, cuando se sabe que la tendencia de todas las entidades químicas es obtener una mayor estabilidad, la cual se logra por el establecimiento de interacciones de diferentes tipos entre los átomos.

Por otra parte, al no representar las transformaciones energéticas durante el proceso de formación del enlace iónico entre los iones Na^+ y Cl^- , se desconoce la importancia de las propiedades periódicas observadas en los metales y no metales, lo cual puede llevar a pensar al lector que estas propiedades no están relacionadas con los procesos de ionización de los átomos y, además, que no es necesario liberar energía para alcanzar mayor estabilidad en los procesos químicos.

Otra subcategoría de gran importancia en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias se refiere a la forma como las figuras son presentadas en los libros de texto. Las figuras deben representar de manera completa el fenómeno que con ellas se quiere explicar. Del total de figuras analizadas 50% se presenta de manera inadecuada.

La Figura 2 muestra los enlaces covalentes simple, doble y triple tomando como ejemplo las moléculas del cloro, oxígeno, nitrógeno. La figura representa el enlace covalente entre dos átomos iguales teniendo como base el modelo atómico solar, en el cual se observan orbitas concéntricas con los electrones distribuidos en ellas.

Los electrones están representados con círculos de colores diferentes para cada átomo. También se representa el enlace covalente con la notación de líneas las cuales representan pares de electrones compartidos.

Se considera que la figura tiene una presentación inadecuada porque no se representan, entre otros aspectos, los siguientes: el núcleo atómico, orbitales atómicos y moleculares, nubes electrónicas, acercamiento y traslape de orbitales, lo cual se considera indispensable para interpretar el mensaje visual de manera adecuada.

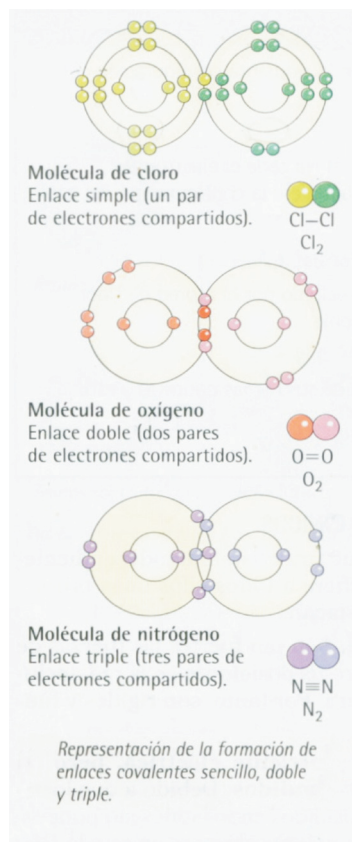


Figura 2. Representación del enlace covalente. La figura destaca la subcategoría presentación inadecuada. Como se describe en el texto no se ilustra de manera adecuada la forma como se comparten los electrones.

Además, la representación que se hace del enlace covalente no está de acuerdo con los planteamientos actuales aceptados por la comunidad científica. De acuerdo con Pró, esta representación gráfica puede ser clasificada como representación vulgar dado que se presentan aspectos habituales y de cierta manera rutinarios,

y económica en cuanto a que se presentan muy pocos elementos, los justos para comprender el mensaje visual. (Pró 2003). A continuación describimos con mayor detalle los aspectos antes señalados.

A) En la figura no se representa el núcleo atómico. De acuerdo con el modelo atómico de Rutherford el átomo posee un núcleo en el cual se concentran los protones y los neutrones. Esta representación podría hacer pensar al estudiante (lector) que cuando dos átomos se unen por medio de un enlace covalente los núcleos de ambos átomos desaparecen, y con este los protones y neutrones. Esta representación, como tal, no corresponde totalmente con el llamado modelo solar, en él los electrones giran alrededor del núcleo en órbitas circulares y, por supuesto, debe existir núcleo atómico. Si no existe núcleo entonces tampoco existiría esa fuerza de atracción de los protones hacia los electrones, la cual hace que los electrones se mantengan a determinada distancia del núcleo dándole de esta manera estabilidad al átomo.

B) Los electrones no están distribuidos correctamente en las órbitas. En la figura, los electrones de una órbita están alineados con los electrones de la órbita siguiente, lo cual generaría repulsiones entre éstos de acuerdo con la ley de Coulomb aplicada a partículas con la misma carga eléctrica. Sommerfeld propuso órbitas elípticas además de las circulares para los electrones. Estas órbitas no son coplanares, por lo tanto no hay lugar a repulsiones entre los electrones de cada órbita. La distribución de los electrones en las órbitas daría a entender que no existen repulsiones entre partículas con la misma carga eléctrica tales como los electrones.

C) En la figura no se observa ni traslape de orbitales ni formación de nubes electrónicas. De acuerdo con el modelo de la mecánica cuántica, los electrones no se encuentran en órbitas sino en orbitales. Cada electrón de enlace se ubica en un solo orbital. Para que se dé un enlace covalente entre dos átomos iguales, debe haber un acercamiento y un traslape de los orbitales atómicos donde se encuentran los electrones de enlace. Este traslape origina orbitales moleculares, y estos orbitales conforman la nube electrónica donde se mueven los electrones compartidos equitativamente en el enlace.

Al utilizar esta representación del enlace covalente se podría pensar que ésta es la mejor manera de representar este tipo de enlace. De otra parte, esta representación desconoce los aportes científicos que llevaron a postular nuevos modelos atómicos que explican en forma más adecuada la estructura del átomo como, por ejemplo,

el de la mecánica cuántica, que permite una mejor explicación del proceso de formación del enlace covalente.

Un aspecto crítico referido a la representación de figuras en la enseñanza de las ciencias se relaciona con los asuntos esenciales de los fenómenos que se quieren representar. En cuanto a este aspecto encontramos que 19.4% de las figuras analizadas carece de elementos claves sin los cuales no sería posible una representación adecuada del concepto que se quiere explicar. La Figura 3 muestra la forma cómo se da la interacción entre el agua y un cristal de NaCl para producir la disolución de éste. En la figura se representa el cristal de NaCl como una agrupación de círculos de color rojo y verde con los signos (+) y (-) (que representan a los iones sodio y cloruro). El cristal de NaCl se encuentra sumergido en un vaso con agua. Del conjunto de círculos de color rojo y verde sale una flecha de color amarillo la cual va dirigida hacia el cristal que se encuentra sumergido dentro del vaso. Las moléculas de agua están representadas por esferas amarillas unidas a esferas azules (ver Figura 3).

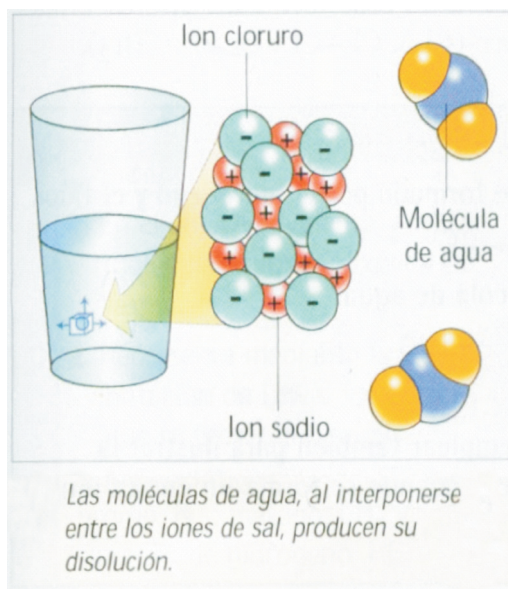


Figura 3. Representación de la hidratación de cloruro de sodio. La figura no muestra de manera clara la interacción entre las moléculas de agua y los iones cloruro y sodio. De igual manera, la dirección de la flecha puede inducir errores en los estudiantes.

Consideramos que a la Figura 3 le faltan elementos claves que llevarían a una interpretación adecuada del fenómeno que quiere representar. Estos elementos son: las cargas eléctricas de la molécula de agua y las convenciones que indiquen que hay absorción y liberación de energía. No se señala cuál es el átomo de oxígeno y cuál el de hidrógeno en la molécula de agua, lo cual puede ser importante para estudiantes de niveles primarios de formación. De acuerdo con Pró, esta representación gráfica contiene información mínima debido a los pocos elementos integrantes del mensaje visual y es vulgar dado que se puede considerar como una presentación habitual y sin cambios (Pró 2003). A continuación describimos con mayor detalle lo antes planteado.

A) En la figura no se observan las cargas positiva (+) del hidrógeno y negativa (-) del oxígeno en la molécula de agua. Para que un compuesto iónico se disuelva en agua debe existir una interacción entre el agua (molécula polar que forma un dipolo) y los iones que forman el compuesto, esta interacción es de tipo ion-dipolo. Cuando el sólido iónico entra en contacto con el agua, las moléculas de agua se orientan por sí mismas alrededor de los iones Na^+ y Cl^- . Los polos positivos (H^+) de las moléculas de agua rodean completamente al ion Cl^- , y los polos negativos (O^-) de las moléculas de agua rodean completamente al ion Na^+ , estableciéndose entre ellos una atracción llamada interacción ion-dipolo. Al omitir las cargas positiva (+) del hidrógeno y negativa (-) del oxígeno en las moléculas de agua se daría a entender que el agua no es una molécula polar. Por otra parte, al no estar en contacto las moléculas de agua con los iones Na^+ y Cl^- se podría pensar que el agua no estaría asociada al proceso de hidratación.

B) En la figura no se indican las transformaciones energéticas que ocurren durante la disolución de NaCl en H_2O . La red cristalina está constituida por iones Na^+ y Cl^- los cuales se encuentran en posiciones muy definidas dentro de la red, y la fuerte atracción entre estos dos iones hace que el cristal sea compacto. Esta fuerza de atracción es responsable de que los iones se mantengan aferrados a la red.

Como sabemos, en la formación de un enlace se libera energía. De igual manera, para romper un enlace se requiere suministrar energía. Ésta se conoce como energía de enlace, y toma los nombres de energía de formación de enlace o de disociación de enlace dependiendo del proceso que se esté llevando a cabo. También se libera energía cuando se establecen interacciones ion-dipolo como ocurre, en este caso, con los iones del NaCl y el agua.

Para que un sólido iónico como el NaCl se disuelva en agua primero deben romperse las fuerzas de atracción entre los iones Na^+ y Cl^- que forman la red cristalina (en esta etapa se absorbe energía) y, luego, estos iones libres interactúan con las moléculas de agua estableciéndose fuerzas de atracción con éstas (interacciones ion-dipolo), en esta etapa se libera energía. Como consecuencia de la ausencia de elementos que indiquen el suministro o liberación de energía en la figura, se desconoce la importancia de los principios termodinámicos relacionados con los procesos físicos y químicos, teniendo en cuenta que estos principios son aplicables a todos los procesos y fenómenos de la naturaleza. Lo anterior podría llevar al lector a creer que durante la disolución del NaCl en H_2O no existen transformaciones energéticas, las cuales sí se explican en el texto.

En un análisis más detallado del desarrollo conceptual del texto que acompaña a las diferentes gráficas, identificamos la categoría *errores de contexto*. Para este propósito nos referiremos a continuación a lo presentado en el texto acerca de la arquitectura molecular.

La geometría de las moléculas se puede explicar por medio de la Teoría de las Repulsiones de Pares de Electrones de la Capa de Valencia (TRPECV). La formación del enlace covalente se puede explicar por medio de dos teorías: la Teoría Enlace Valencia (TEV) y la Teoría del Orbital Molecular (TOM). Así lo establece Ebbing cuando dice:

El modelo VSEPR (o TRPECV) es un método usualmente satisfactorio para predecir las geometrías moleculares. Sin embargo, para comprender la estructura electrónica y los enlaces, se debe observar la mecánica cuántica. Consideraremos dos teorías que provienen de la mecánica cuántica: la Teoría enlace valencia y la Teoría de orbitales moleculares. Ambas emplean los métodos de la mecánica cuántica, pero hacen diferentes suposiciones y simplificaciones. (Ebbing, 1997)

Teniendo en cuenta el desarrollo teórico realizado en el texto, el cual se centra en las formas geométricas de las moléculas, éstas se clasifican en angulares, piramidales y tetraédricas según la TRPECV.

A) En el texto que corresponde a moléculas angulares se han encontrado los siguientes problemas:

El texto dice:

Las representaciones orbitales de los enlaces del H_2O sugieren que dos orbitales (p) del oxígeno participan en el enlace, mientras que dos orbitales (1s) lo hacen por parte del hidrógeno. Si la distribución espacial persiste después de haberse formado los enlaces, la molécula de agua debería ser angular, con un ángulo próximo a 90° . Sin embargo, la cercanía de estos orbitales genera una ligera repulsión que hace que dicho ángulo sea superior a este valor ubicándose cerca de $104,5^\circ$.

En el texto no se explica con claridad entre qué tipo de orbitales se dan las repulsiones, ni tampoco se explica por qué se generan las repulsiones que hacen que el ángulo varíe.

Con respecto a los problemas planteados anteriormente, Manku ofrece una explicación satisfactoria de la siguiente manera:

Considérese la combinación de un átomo de oxígeno ($1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^1 2p_z^1$) con dos átomos de hidrógeno (cada uno $1s^1$) para dar lugar a la formación de la molécula de agua a través del acercamiento de los átomos de hidrógeno a lo largo de dos direcciones mutuamente perpendiculares (ejes y y z). En consecuencia, el ángulo de enlace será de 90° . Sin embargo, el ángulo que en realidad existe es de $104\frac{1}{2}^\circ$. Esto puede explicarse con base en la mayor electronegatividad del átomo de oxígeno, el cual polariza y atrae hacia sí los pares electrónicos de enlace. Esto da lugar a una separación de cargas. Los átomos de hidrógeno adquieren una carga positiva pequeña, mientras que el átomo de O adquiere una carga negativa pequeña. Los dos átomos de hidrógeno parcialmente positivos se repelen entre sí, lo cual aumenta el ángulo de enlace a $104\frac{1}{2}^\circ$. (Manku, 1988, pág. 149)

Lo anterior indica que durante la formación de la molécula de agua los orbitales $2p_y^1$ y $2p_z^1$ del oxígeno se traslapan con los orbitales $1s^1$ de los dos hidrógenos para formar enlaces, proceso que se explica por medio de la TEV. Esta teoría explica cómo y por qué se forman los enlaces, y también plantea que estos tienen direcciones definidas.

El texto dice:

En general se puede afirmar que un átomo divalente con dos orbitales (p) como orbitales de valencia forma una molécula angular”.

La expresión átomo divalente podría referirse a un átomo central que forma dos enlaces con otros dos átomos, por ejemplo, el átomo de oxígeno en el H_2O y el Cl_2O , y el átomo de S en el H_2S .

Teniendo en cuenta los problemas encontrados en el texto sobre moléculas angulares (H_2O), a continuación presentamos una propuesta para explicar satisfactoriamente la geometría molecular con base en la TRPECV. Esta teoría explica la geometría de la molécula del agua de la siguiente manera: la molécula de agua se puede considerar como una molécula del tipo AB_2 (en este caso A es el oxígeno y B es el hidrógeno) en la cual A es el átomo central y está rodeado por cuatro pares de electrones (dos pares de no enlace y dos pares compartidos). Los cuatro pares de electrones están dirigidos hacia los cuatro vértices de un tetraedro (distribución tetraédrica) y esta distribución hace que sean mínimas las repulsiones entre los pares de electrones. Los dos pares de electrones de no enlace ocupan mayor espacio por ser más voluminosos generando mayores repulsiones, lo que hace que el ángulo H-O-H sea menor que el ángulo de enlace de $109,5^\circ$ para las moléculas con distribución tetraédrica. Aquí se plantea la influencia que tienen los pares libres en la forma de una molécula. Con respecto a esto Manku afirma:

Se ha encontrado que las repulsiones entre los electrones de los pares libres son mayores que las que suceden entre los pares de enlace (PE), el orden de incremento en las repulsiones es: PL - PL > PL - PE > PE - PE. (Manku, 1988)

Ahora bien, puesto que la forma de una molécula está determinada por las posiciones de los átomos más que por la disposición de los pares de electrones, en el agua la geometría es angular y el ángulo de enlace H-O-H es de $104,5^\circ$ (Tomado de Carey, 1999, pág. 26). Se le llama angular porque la disposición de los átomos de O y H en la molécula forma un ángulo.

Otra forma de explicar la formación de la molécula de agua por la TEV es considerando la hibridación de los orbitales atómicos 2s y 2p del oxígeno. El oxígeno hibridiza sus orbitales atómicos 2s y 2p para obtener cuatro orbitales híbridos sp^3 . Dos de estos orbitales híbridos contienen un electrón cada uno y son utilizados para formar enlace covalente con el orbital 1s de cada hidrógeno. Los otros dos orbitales contienen pares de electrones de no enlace. (Tomado de Fessenden y Fessenden, 1983, p. 67)

B) En el texto que corresponde a moléculas piramidales se han encontrado los siguientes problemas:

El texto dice:

El nitrógeno es un átomo trivalente, esto quiere decir, que cuando este átomo forma enlaces, intervienen sus tres orbitales atómicos (p). Si suponemos una reacción con el hidrógeno éste aportaría su único orbital (s), lo cual significa que se necesitan tres átomos de hidrógeno para saturar la capacidad de enlace del nitrógeno. Una vez formado el enlace entre estos dos átomos debemos esperar que la molécula de amoníaco (NH_3) adopte una forma piramidal de base triangular con ángulos de enlace que deberían estar próximos a 90° . Sin embargo, tal como se explicó en el caso anterior, estos orbitales se reorientan espacialmente para vencer fuerzas de repulsión generadas entre sus orbitales moleculares, ubicándose en posiciones energéticamente más estables; al hacerlo, sus ángulos de enlace varían ligeramente hasta tomar un valor de 107° .

En el texto anterior se afirma que la distribución espacial de la molécula debería ser con ángulos próximos a 90° . También afirma que ciertos orbitales se reorientan en el espacio para vencer fuerzas de repulsión, y esto hace que los ángulos de enlace aumenten hasta 107° . En el texto no se explica con claridad porqué se generan las repulsiones que hacen que los ángulos varíen. Además, se mencionan los orbitales moleculares sin explicar cómo se formaron, y debemos tener en cuenta que el concepto de orbital molecular es la base de la Teoría del Orbital Molecular, la cual maneja otros aspectos del enlace covalente.

Con respecto a los problemas planteados anteriormente, Manku ofrece una explicación satisfactoria de la siguiente manera:

La estructura del amoníaco puede explicarse considerando el acercamiento de los tres átomos de hidrógeno a lo largo de los tres ejes mutuamente perpendiculares. Las diferencias en electronegatividad dan lugar a una separación de cargas en los átomos enlazados y las repulsiones interatómicas provocan la separación entre los átomos de hidrógeno cargados en forma positiva. Esto aumenta el ángulo de enlace a 107° . (Manku, 1988, p. 149)

Lo anterior indica que durante la formación de la molécula de amoníaco los orbitales $2p_x^1$, $2p_y^1$ y $2p_z^1$ del nitrógeno se traslapan con los orbitales $1s^1$ del hidrógeno para formar enlaces, proceso que se explica por medio de la TEV. Y como ya hemos

mencionado, la TRPECV es la que predice la forma piramidal trigonal para la molécula de amoníaco.

Teniendo en cuenta los problemas encontrados en el texto sobre moléculas piramidales (NH_3), a continuación presentamos una propuesta para explicar satisfactoriamente la geometría molecular con base en la TRPECV. Esta teoría explica la geometría de la molécula de NH_3 (en forma similar a la del H_2O) de la siguiente manera: la molécula de NH_3 se puede considerar como una molécula del tipo AB_3 (en este caso A es el nitrógeno y B es el hidrógeno) en la cual A es el átomo central y está rodeado por cuatro pares de electrones (un par de no enlace y tres pares compartidos). Los cuatro pares de electrones están dirigidos hacia los cuatro vértices de un tetraedro (distribución tetraédrica) y esta distribución hace que sean mínimas las repulsiones entre los pares de electrones. El par de electrones de no enlace ocupa mayor espacio por ser más voluminoso generando mayores repulsiones lo que hace que los ángulos H-N-H sean menores que los ángulos de enlace de $109,5^\circ$ para las moléculas con distribución tetraédrica. Ahora bien, puesto que la forma de una molécula está determinada por las posiciones de los átomos más que por la disposición de los pares de electrones, en el amoníaco la geometría es piramidal trigonal y el ángulo H-N-H es de 107° (Carey, 1999, pág. 26). Se le llama piramidal trigonal porque el átomo de nitrógeno está en el ápice de una pirámide, y los tres átomos de hidrógeno se extienden hacia abajo para formar la base triangular de la pirámide. (Ebbing, 1997, p. 393)

Otra forma de explicar la formación de la molécula de amoníaco por la TEV es considerando la hibridación de los orbitales atómicos 2s y 2p del amoníaco. El nitrógeno hibridiza sus orbitales atómicos 2s y 2p para obtener cuatro orbitales híbridos sp^3 . Tres de estos orbitales contienen un electrón cada uno y son utilizados para formar enlaces covalentes con el orbital 1s de cada hidrógeno. El otro orbital contiene un par de electrones de no enlace. (Fessenden y Fessenden, 1983, p. 65)

C) Moléculas tetraédricas (CH_4).

En el texto que corresponde a moléculas tetraédricas encontramos que se plantea la distribución electrónica externa del carbono como $2s^2 2p_x^1 2p_y^1$. Al proponer esta distribución se desconoce la existencia del orbital $2p_z$ como una de las tres posibles orientaciones del subnivel p, ya que la mecánica cuántica establece que el subnivel

p tiene orientaciones en los ejes x, y y z. Ahora, en el caso del carbono, por el hecho de que el orbital $2p_z$ no tenga electrón, no quiere decir que no deba incluirse en la distribución electrónica. Si en la explicación del texto se omite el orbital $2p_z$ el lector podría confundirse pensando si realmente el carbono presenta un orbital $2p_z$ en su distribución electrónica, porque cuando se explica la hibridación de los orbitales del carbono, este orbital aparece con un electrón que no tenía.

El texto afirma que la hibridación de los orbitales atómicos del carbono, además de permitir la formación de cuatro enlaces covalentes, facilita energéticamente la estabilidad de las moléculas. Esto está de acuerdo con lo afirmado por Fessenden:

...la hibridación da lugar a enlaces más fuertes, debido al mayor grado de superposición orbital, resultando de ello moléculas más estables y con menor contenido energético. (Fessenden y Fessenden, 1983, p. 52)

El carbono se encuentra en el grupo IVA de la Tabla Periódica, puede formar cuatro enlaces (como en el caso del metano) por lo que se dice que es tetravalente. Pero su distribución electrónica no ofrece la posibilidad de formar cuatro enlaces. Para obtener cuatro electrones no apareados es necesario que un electrón del orbital 2s sea promovido (o excitado) al orbital $2p_z$ vacío. De esta manera se obtienen cuatro orbitales de enlace, el orbital 2s y tres orbitales 2p los cuales podrían formar enlace con el orbital 1s del hidrógeno. Sin embargo, se ha demostrado experimentalmente que los cuatro enlaces C-H en el metano son equivalentes, esto quiere decir que los cuatro orbitales del carbono también son equivalentes. Para explicar esto, la TEV propuso que los cuatro orbitales del carbono se hibridizan (o combinan) para formar cuatro orbitales híbridos equivalentes. Los cuatro orbitales híbridos se obtienen a partir de un orbital s y tres orbitales p. Esta combinación da como resultado cuatro orbitales híbridos sp^3 .

A continuación presentamos una propuesta para explicar satisfactoriamente la geometría molecular con base en la TRPECV. Esta teoría explica la geometría de la molécula de CH_4 (en forma similar a la del H_2O y la del NH_3) de la siguiente manera: la molécula de CH_4 se puede considerar como una molécula del tipo AB_4 (en este caso A es el carbono y B es el hidrógeno) en la cual A es el átomo central y está rodeado por cuatro pares de electrones (los cuatro pares son compartidos).

Los cuatro pares de electrones están dirigidos hacia los cuatro vértices de un tetraedro y esta distribución hace que sean mínimas las repulsiones entre los pares de electrones. De esta manera se puede decir que para la molécula de CH_4 la geometría molecular es tetraédrica. Así lo afirma Carey:

“La geometría tetraédrica permite que los cuatro enlaces del metano estén lo más separados posible y está caracterizada por ángulos H-C-H de $109,5^\circ$, que es el valor del ángulo tetraédrico”. (Carey, 1999, p. 26)

Las teorías tratadas en este texto, sobre enlace químico, se deberían explicar independientemente puesto que cada una tiene un enfoque distinto sobre el enlace químico. Asimismo, en el caso particular del tema geometría molecular, tratado en este texto, las moléculas consideradas deberían presentarse de la manera en que los libros de ciencia las manejan. Además, tener en cuenta que en las moléculas de agua y amoníaco el oxígeno y el nitrógeno se hibridizan para formar dichas moléculas.

Al igual que en las discusiones anteriores, las figuras empleadas para la enseñanza de conceptos en ciencias deben contener una *secuencia explicativa* clara que le permita a los estudiantes una comprensión adecuada del fenómeno que en ellas se representa. En cuanto a esta categoría 22.2% de las gráficas analizadas muestran poca secuencialidad en cuanto al concepto que representan. En la Figura 4a, que representa la forma geométrica de la molécula de agua, se observa una esfera grande de color naranja y a los lados de ésta se encuentran dos esferas más pequeñas de color gris claro por detrás de la esfera grande. Dentro de la esfera grande se encuentra una forma geométrica similar a un tetraedro, en dos de los vértices del tetraedro se ubican dos pares de puntos negros y entre dos de las líneas negras gruesas del tetraedro se establece un ángulo de 105° .

En la Figura 4b se observa una esfera grande de color azul. Por encima y por debajo de ésta se encuentran dos esferas más pequeñas de color gris claro, y a los lados se encuentran otras dos detrás de la esfera grande. En el centro de la figura se observa una forma geométrica similar a un tetraedro, entre dos de las líneas gruesas del tetraedro se establece un ángulo de $109,5^\circ$.

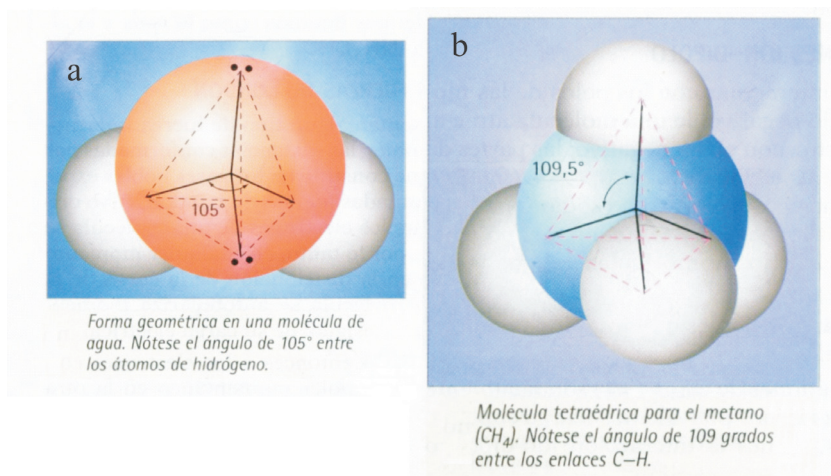


Figura 4a y 4b. Ejemplo de secuencialidad gráfica. Destacamos la ausencia de un proceso gradual que lleve a los estudiantes a lograr mejores comprensiones del tema estudiado.

Se considera que las figuras 4a y 4b tienen poca secuencialidad en cuanto a su estructura porque, como ya se mencionó, las moléculas de CH_4 , NH_3 , H_2O se clasifican como tetraédricas según la TRPECV y las variaciones a la forma tetraédrica base se presentan de acuerdo al número de electrones de no enlace de la molécula. En la sección de arquitectura molecular se presenta poca secuencialidad de imágenes (Pró 2003) ya que las figuras se presentan en el orden inverso al que se ha establecido en la literatura científica. Dentro de los posibles problemas para la enseñanza y aprendizaje de los conceptos en ciencias, relacionados con la secuencialidad en las figuras, encontramos aumento en la complejidad de la temática estudiada, posible confusión conceptual y dificultad para la construcción conceptual debido a la ausencia de secuencia lógica en la presentación de las temáticas.

La TRPECV establece que la geometría molecular tetraédrica es la más favorable para tener las mínimas repulsiones entre los átomos unidos al átomo central y esto hace que la molécula sea más estable y posea menor energía, en otras palabras, la geometría tetraédrica es la ideal en moléculas que poseen cuatro pares de electrones compartidos alrededor del átomo central. Las variaciones a la forma tetraédrica ideal se presentan porque cada par de electrones de no enlace ocupa mayor volumen y por lo tanto necesita más espacio que un par de electrones compartidos dentro de la molécula. Esto hace que los ángulos de un enlace (entre el átomo central y los

demás átomos) disminuyan buscando de nuevo estabilidad y mínima energía. De acuerdo con lo anterior, una posible secuencia para la enseñanza de la geometría molecular puede partir, en primera instancia, con la presentación de la figura del metano (CH_4), luego la del amoníaco (NH_3) (un par de electrones de no enlace), y por último la del agua (H_2O) (dos pares de electrones de no enlace).

CONCLUSIONES

Se encuentra poca conexión entre las figuras y los textos, así como también entre los pies de figura y las figuras. Es muy importante que exista una buena conexión entre los textos y las figuras que los acompañan, puesto que se considera que las figuras facilitan la comprensión de los conceptos y son un complemento de la información contenida en los libros de texto.

El análisis muestra poca secuencialidad entre algunas gráficas presentadas en el libro de texto, igualmente, en los textos que acompañan a dichas gráficas. El hecho de que haya secuencialidad entre las gráficas que se presentan en un libro de texto de ciencias es muy importante, puesto que permitiría, al menos en el plano de lo teórico, una buena construcción de los conceptos desde lo básico hasta lo más complejo. Además, si la secuencialidad también se da en el desarrollo del texto se podría esperar que no se presente confusión conceptual en el lector, y todo esto facilitaría la comprensión de los contenidos.

Se observa una tendencia en la utilización de figuras con carácter estético en los libros de texto. Este tipo de figuras en la mayoría de los casos sólo cumplen una función decorativa y, de esta manera, se pierde la intención didáctica que deberían tener las figuras. Cuando una figura está muy bien diseñada, se hace más fácil que el lector se forme un modelo mental de la información contenida en el texto, partiendo de la adecuada interpretación que se haga de la figura.

La mayoría de las figuras analizadas se presentan de manera inadecuada en el libro de texto, lo cual influye en la interpretación de los contenidos que éstas representan. Al igual, que en el comentario anterior, la manera como son diseñadas las figuras en un libro de texto, influye positiva o negativamente en la comprensión de los contenidos por parte del lector. La influencia negativa se presenta porque no se facilita la formación de los modelos mentales, los cuales ayudan a comprender mejor los conceptos científicos.

Desde la perspectiva de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, queda clara la importancia de destacar el uso de diferentes lenguajes en el momento de enseñar un concepto. En el contexto de los procesos comunicativos en el aula han sido ampliamente estudiados los aspectos referidos a los lenguajes proposicionales y, en menor grado, lenguajes como los gráficos, gestuales e icónicos, entre otros. Aunque el propósito de la presente investigación no fue determinar el aporte de distintos lenguajes al aprendizaje de las ciencias, sí parece clara la relación entre éstos y el logro de aprendizajes en profundidad de los conceptos estudiados, aspectos que serán de gran importancia en investigaciones futuras.

REFERENCIAS

BRICEÑO, C. O. (1999). *Química Orgánica – Inorgánica*. Bogotá, Colombia: Fondo Educativo Panamericano, segunda ed.

CHANG, R. (1999). *Química*. México: Mc Graw – Hill, sexta ed.

CAREY, Francis A. (1999). *Química Orgánica*. Aravaca (Madrid) España: McGraw – Hill, tercera ed.

DUVAL, R. (1999). *Semiósis y pensamiento*. Cali: Universidad del Valle.

EBBING, D. (1997). *Química General*. México: Mc Graw – Hill, quinta ed.

FESSENDEN, R. J. y JOAN S. (1983). *Química Orgánica*. México D. F.: Grupo Editorial Iberoamericana.

IZQUIERDO, M. y Col. (2000). Los libros de texto: utilidad, dificultades de lectura y de interpretación. *La clase comunicativa: una estrategia para una enseñanza de calidad*. Universidad Autónoma de Barcelona.

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

LÓPEZ, R. y SALDARRIAGA, J. A. (2003). Las representaciones gráficas (ciclos) y su influencia en el desarrollo de competencias interpretativas en estudiantes de ciencias naturales. Tesis de grado. Universidad de Caldas.

MANKU, G. S. (1988). *Principios de Química Inorgánica*. México: Mc Graw – Hill, primera ed.

MONDRAGÓN, C. H. (2001). El enlace químico. En: C. Mondragón. Química I Santillana. Bogotá: editorial Santillana.

MORA, P. W. (2004). Colisiones y tipos de enlaces. En, W. Mora, Interacciones, conservación y cambio químico; Molécula I. Bogotá: Editorial Voluntad S. A.

PERALES, F. J. y JIMÉNEZ, J. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. Enseñanza de las ciencias, Vol 20, N° 3, 369-383.

PRENDES. (1997). Análisis de imágenes de textos escolares: descripción y evaluación. www.lmi.ub.es/te/any97/prendes_sp/

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

TAMAYO, Ó. E., (2006). Representaciones semióticas y evolución conceptual en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas. *Revista Educación y Pedagogía*, N° 45.

http://www.cnet.club.edu/quim/Q_3451/modulo1/modulo1d_files/descripción.html

http://www.lmi.ub.es/te/any97/prendes_sp/p3.html

http://www.el-libro.com.ar/archivo_documental/PDFs/4-005-Barros.pdf