Libros de texto de química ¿fuentes de comunicación o incomunicación?

Salvador Alí, María A. Di Giacomo, Lydia Galagovsky[1], María E. Gemelli, Jimena Giudice, Liliana Lacolla, Lorena Pepa, Cecilia Porcel de Peralta *

1. INTRODUCCIÓN

En el marco de la carrera del Profesorado Universitario en Química de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA), en la materia Didáctica Especial y Práctica de la Enseñanza I, se trabaja sobre el análisis de textos utilizados en enseñanza de la Química, con el objetivo de analizar dificultades en su interpretación, diferenciando la mirada que sobre ellos pueden realizar expertos o novatos en los temas involucrados. La reflexión metacognitiva derivada de esta actividad conduce a tomar conciencia sobre cómo los distintos niveles de representación y los lenguajes utilizados en los textos son origen probable de dificultades en la comprensión de los estudiantes.

En este trabajo se presentan ejemplos extractados de páginas de libros de texto en los que se discute el punto de vista interpretativo diferencial entre expertos (docentes) y novatos (estudiantes). De esta manera se postulan heurísticos y razonamientos lógicos pero científicamente erróneos, que se pueden derivar de esas páginas, de esos párrafos, de los dibujos, esquemas y analogías.

Se pone en evidencia que la comprensión de los conceptos abstractos de la Química requiere de los estudiantes una gran demanda cognitiva al tener que comprender numerosos y complejos conceptos [1], presentados simultáneamente en lenguajes diversos (lenguaje gráfico, verbal, de fórmulas químicas, de fórmulas matemáticas, etc.) que se complementan [2].

Cada lenguaje posee sus propios códigos y formas sintácticas, que los expertos y los novatos deberían compartir para lograr una buena comunicación y facilitar así la alfabetización científica. Si esto no ocurre, la incomunicación conceptual podría ser uno de los orígenes del fracaso escolar y del consiguiente rechazo de esta disciplina por parte de los estudiantes.

MARCO TEÓRICO

En investigaciones previas hemos mostrado que la complejidad de los *lenguajes* involucrados en las explicaciones de Química puede resultar fuente de aprendizajes erróneos por parte de estudiantes que se inician en el estudio de esta disciplina escolar [3,4].

Los expertos en Química escribimos *textos educativos* desde un conocimiento que excede la mera significación que un estudiante novato le puede adjudicar a dicho texto. Así, un párrafo de un libro de texto es un trozo de *información científica escolar.* Esta información (presentada directamente, o a través de una analogía, y descripta en lenguajes verbal, gráfico, o de fórmulas) es decodificada correctamente por el experto y, a veces, erróneamente por el estudiante.

A pesar de la importancia que adquieren los recursos didácticos en la enseñanza de cualquier disciplina, pocas veces reflexionamos acerca de las dificultades de comunicación que pueden encerrar dichos recursos.

Si bien toda transposición didáctica implica un reduccionismo de complejos *modelos científicos* a *modelos de ciencia escolar*, lo que postulamos es una necesaria diferenciación entre *modelos explícitos* (expresados complementariamente en dife-

* GIADICIENQ (Grupo de Investigación en Aprendizaje y Didáctica de las Ciencias Naturales y de la Química), Asociación Química Argentina y CEFIEC (Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (FCEN-UBA).

[1] Email: lyrgala@qo.fcen.uba.ar

rentes lenguajes) y *modelos mentales*, que son arreglos conceptuales funcionales que permiten al sujeto interpretar información. La Red Conceptual [5] que se presenta en la Figura 1 muestra este marco teórico; en ella se marca muy claramente que los expertos construimos textos a partir de *modelos mentales expertos*, mientras los estudiantes construyen *modelos mentales idiosincrásicos* -generalmente erróneos - a partir de dichos textos.

El procesamiento cognitivo de significación que hacen los estudiantes con la información científica que reciben durante la enseñanza es parcial (respecto del que realiza un experto) y este hecho puede conducirlos a construir sus propios modelos mentales idiosincrásicos. Los elementos constitutivos de estos modelos provienen del lenguaje cotidiano, de las experiencias personales, y otorgan a terminología metafórica significados literales, desde el uso diario.

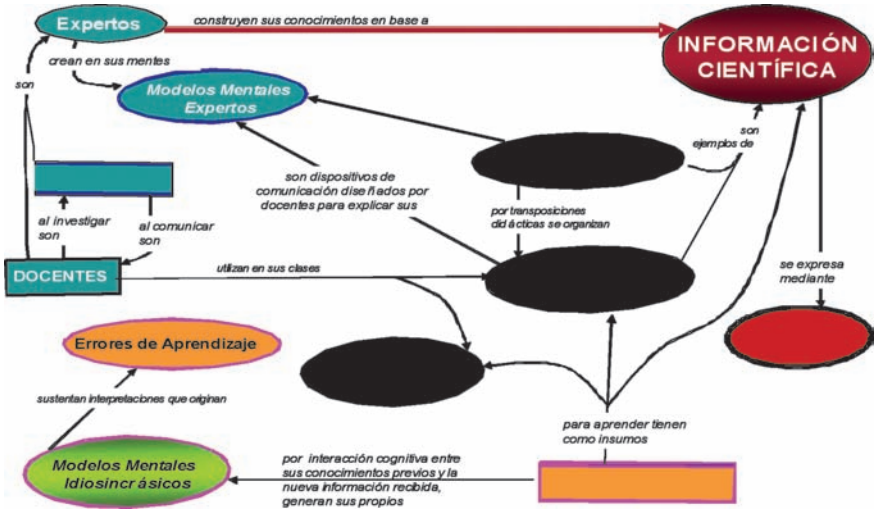

Figura 1. Red conceptual que esquematiza cómo la información científica cumple diferentes roles cognitivos, según el desempeño de expertos o novatos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan y analizan desde este marco teórico algunos ejemplos extraídos de libros de texto escolares.

Ejemplo 1. [6]
En la Figura 2 se está haciendo uso de una analogía para explicar el balanceo de ecuaciones químicas.

Esta analogía gráfica tiende a asimilar el *modelo físico de balanza* para mostrar un "desbalanceo de los platillos" cuando no coincide el número de figuras que representan átomos en ambos lados.

Obsérvese, por ejemplo en el esquema central, que igual número de moléculas, no necesariamente sería un balance.

La intención de esta analogía, es asociar el concepto de balance al de equilibrio estático en física. Sin embargo, otra asociación posible es la del concepto de equilibrio físico con equilibrio químico, originando esta asociación ideas erróneas. Se alimenta la conocida noción alternativa de que el equilibrio químico se alcanza cuando hay iguales cantidades de reactivos y productos [7].

Además, las representaciones a nivel submicroscópico aparecen en una relación de

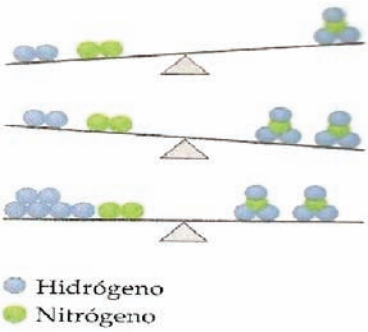

Figura 6.5 Para balancear la ecuación de la reacción entre nitrógeno e hidrógeno para formar amoniaco, debe aparecer el mismo número de cada tipo de átomos en ambos lados de la ecuación (los átomos se conservan). Cuando la ecuación está balanceada, hay dos átomos de nitrógeno y seis átomos de hidrógeno en cada lado.

Figura 2. Analogía utilizada para explicar el balanceo de ecuaciones

tamaños desproporcionada con respecto a la balanza esquematizada, en total contradicción con una leyenda de la página anterior del mismo libro que dice: "*no podemos pesar átomos y moléculas individuales…*".

Ejemplo 2. [8]
El texto dice: "*Los hidrocarburos son compuestos formados exclusivamente por carbono e hidrógeno*"

Una afirmación como ésta puede resultar una frase muy ambigua para el alumno novato si no considera el contexto en el cual está inserta. La palabra "*hidrocarburos*" puede referir tanto a un tipo de molécula (nivel submicroscópico) como al tipo de material compuesto mayoritariamente por este tipo de moléculas (nivel macroscópico, como sinónimo de combustible fósil o petróleo). De hecho, los hidrocarburos como sistema material se presentan en la naturaleza como una mezcla que puede contener además compuestos azufrados y nitrogenados.

La palabra "*compuesto*" también resulta polisémica para un novato, ya que el conocimiento popular generalmente la asocia con algo que no está puro. Desde el punto de vista de un experto, en cambio, se entiende que el párrafo refiere a tipo de moléculas.

Para un novato, tampoco queda claro que los términos carbono e hidrógeno, hacen referencia a los átomos que están unidos formando las moléculas de los hidrocarburos. El alumno podría pensar que los hidrocarburos son una mezcla de las sustancias hidrógeno y carbón.

Ejemplo 3. [9]
En la Figura 3 se utiliza un lenguaje visual propio del nivel macroscópico (balde, jarra, gota) para mostrar una secuencia de menores tamaños hasta llegar a la molécula de agua, que se corresponde con la representación de nivel submicroscópico. En esta última representación no se explican los códigos específicos de este lenguaje gráfico (el por qué de sus formas, colores, tamaños relativos de las esferas constituyentes). La molécula se ve además de mayor tamaño que la gota y del tamaño de la jarra, aunque las flechas rojas indicarían un orden decreciente de tamaño.

Figura 3. Representación de la partición de la materia agua hasta obtener una molécula

Los expertos comprenden que una molécula de agua no tiene las propiedades macroscópicas de la sustancia agua, pero esto no es obvio para los novatos, siendo ésta una idea errónea muy relevada en la literatura sobre ideas previas.

Ejemplo 4. [10]
En la Figura 4 se utilizan diferentes códigos gráficos para dibujar enlaces y átomos componentes de las mismas moléculas.

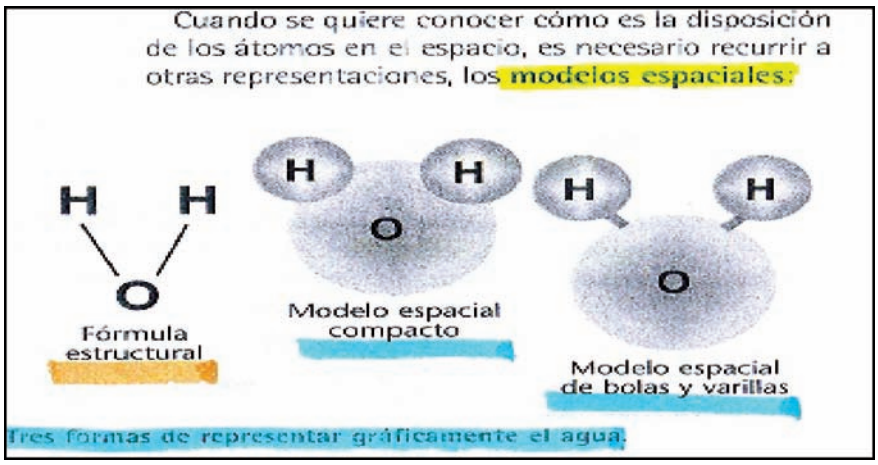

Figura 4. Diferentes representaciones de la estructura de la molécula de agua

A lo largo de diferentes capítulos de este libro las esferas han sido utilizadas con distintos criterios: representar átomos, moléculas, iones en las redes iónicas, partículas de sólidos, líquidos o gases. En esta figura no queda claro con qué criterio se las utiliza. La presencia de esferas superpuestas, esferas unidas mediante segmentos sombreados y también segmentos que unen letras, son tres códigos diferentes para representar interacciones entre átomos. Los expertos conocen en cada caso la equivalencia, pero seguramente se generarán confusiones en los estudiantes si estos códigos no han sido previamente consensuados.

Por otro lado, en el texto incluido en la Figura 4, se dice: "*Cuando se quiere conocer cómo es la disposición en el espacio, es necesario...*". Esta expresión es confusa desde el punto de vista epistemológico respecto de la idea de representación gráfica, pues sugiere que se puede representar algo que no se conoce previamente y que podría conocerse a partir del dibujo. Asimismo, es confusa la significación de "modelos espaciales", ya que se recurre a representaciones en el plano en las cuales cabe que un novato considere como factores importantes aquellos que no lo son (sombreados, distancia entre letras, ángulos entre las letras, etc.)

Ejemplo 5. [9]
El texto dice: "*Los átomos son los ladrillos con los que está hecha toda la materia*".

Esta analogía, muy frecuente, fue utilizada por primera vez por Sébastien Basso en 1621. Para un experto encierra la idea de pocos átomos diferentes cuyas combinaciones permiten la formación de millones de sustancias.

Sin embargo, un novato puede otorgarle a esta oración una interpretación diferente, que puede resultar inadecuada ya que sólo remite a la idea de átomos como unidades iguales repetidas. Además, en una pared los ladrillos están ordenados y no se mueven, visión alejada del modelo cinético corpuscular para sólidos, líquidos y gases.

Las analogías se relacionan frecuentemente con imágenes de conceptos cotidianos como referentes de los conceptos científicos abstractos que se quieren enseñar. La suposición básica es que ayudan a los alumnos a procesar comprensivamente información de alto nivel de abstracción. Sin embargo, son muchas las investigaciones que han demostrado que no hay resultados contundentes en la apropiación efectiva del conocimiento por utilización de analogías.

Ejemplo 6. [11]
El texto dice: *"Las moléculas de un gas se expanden continuamente ocupando un volumen cada vez mayor". "En los líquidos las moléculas pueden deslizarse unas sobre otras, por lo cual los líquidos fluyen y se derraman modificando la forma". "En los sólidos, al no tener las moléculas movimiento de traslación, la forma permanece constante".*

En estas frases es posible advertir que el autor (experto) transita en su explicación por los niveles macroscópico y submicroscópico, sin discriminar cuándo se refiere a cada uno de ellos. Un novato podría llegar a conclusiones erróneas: podría entender que las moléculas se expanden y no que aumenta la distancia entre ellas; que las moléculas de líquidos modifican su forma al fluir; que sólo las moléculas de los sólidos tienen una forma que permanece constante porque no se mueven.

Un novato también podría deducir que los sólidos nunca fluyen… Sin embargo, sólidos pulverizados también fluyen, por deslizamiento de partículas (no necesariamente de moléculas).

Experiencias con alumnos nos permitieron detectar estas confusiones y ponerlas en evidencia al solicitarles que expresaran de modo gráfico y verbal (por escrito) lo que estaban entendiendo acerca del modelo cinético molecular, los estados de agregación de la materia y sus cambios de estado [12].

CONCLUSIONES

Este trabajo intenta ser un aporte reflexivo para mejorar la enseñanza de la Química, a partir de la toma de conciencia sobre las siguientes cuestiones:

- La interpretación de un fenómeno a partir de un discurso, un texto o un dibujo no es unívoca. Cada sujeto, en tanto lector, es un interpretador idiosincrásico.
- Los expertos en Química deberíamos reflexionar sobre la dificultad propia de nuestros lenguajes expertos.
- El presente análisis tiene la intención de remarcar la dificultad de realizar transposiciones didácticas en la enseñanza de la Química.
- La comunicación entre novatos y expertos podría mejorarse si se comprendiera la importancia de los "modelos" que se utilizan en la disciplina, y si se considerara la gran complejidad semántica de su discurso, tanto para comunicar los modelos como para comprenderlos.
- A las dificultades propias de la complejidad del discurso de la Química, se suma un diseño curricular alejado de los intereses y capacidades cognitivas de los estudiantes. Ambos factores podrían ser causas del frecuente rechazo de esta disciplina por parte de los estudiantes secundarios [13].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] A.H. Johnstone, *JCE*. 2010, 87(1), 22-29.

[2] L. Galagovsky, *Revista Episteme, Tecné y Didaxis.* 2007, Número extra, 66-87.

[3] L. Galagovsky y D. Bekerman, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias.* 2009, 8(3): 952-975.

[4] L. Galagovsky, M.A. Di Giacomo y V. Castelo, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias.* 2009, 8(1), 1-22.

[5] L. Galagovsky, *Redes Conceptuales: Memoria, Comunicación y Aprendizaje,* Lugar Editorial, Buenos Aires, 1996.

[6] J. Hill y D. Kolb, *Química para el nuevo milenio*, 8ª ed, Prentice Hall, México, 1999.

[7] Raviolo, A. Educación Química, (2006) 17, 300-307.

[8] L. Vidarte, *Química. Para descubrir un mundo diferente*, Tercer Ciclo EGB, Editorial Plus Ultra, Buenos Aires, 1998.

[9] S. Consoni, B. Ensabella, C. Landi, A. Marcó, C. Paola, P. Salomón, F. Velasco, R. Venero, *Ciencias Naturales 6, Serie Entender - Segundo Ciclo,* Editorial Ángel Estrada y Cía. S.A, Buenos Aires, 2007.

[10] - M.G. Barderi, *Ciencias Naturales 8*. Ed. Santillana, Buenos Aires, 2003.

[11] J.M. Mautino, *Química Polimodal. Estructura de la materia y transformaciones químicas.* Editorial Stella, Buenos Aires, 2001, pág. 21-22.

[12] J. Giudice y L. Galagovsky, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias.* 2008, 7(3), 629-658.

[13] L. Galagovsky, *Revista Industria y Química* (Asociación Química Argentina). 2010, 361, 45-51.