

Para reflexionar

LAS IMÁGENES EN LIBROS DE TEXTO UNIVERSITARIOS: EL CAPÍTULO EQUILIBRIO QUÍMICO

Andrés Raviolo

Universidad Nacional de Río Negro. Bariloche.

E-mail: araviolo@unrn.edu.ar

Resumen: Este artículo muestra los resultados obtenidos de un análisis de las imágenes que aparecen en el capítulo equilibrio químico de libros de texto universitarios. Se revisaron 31 libros de texto, se contabilizaron y clasificaron las ilustraciones encontradas (imágenes y gráficos). Los resultados muestran, en los últimos 50 años, un notable aumento en el número y calidad de las imágenes, con una mayor tendencia a abordar cuestiones conceptuales más que funciones decorativas. No se hallaron imágenes de sistemas químicos que ayuden a construir la idea de equilibrio dinámico, por ello se presentan dos propuestas conceptuales, basadas en diagramas de partículas.

Palabras clave: imágenes, gráficos, equilibrio químico, libros de texto universitarios.

Images in university textbooks: the chemical equilibrium chapter

Abstract: This article shows the results obtained from the analysis of images in the chemical equilibrium chapter of university textbooks. 31 textbooks were checked, images and graphics were numbered and classified. The results show that in the last 50 years there was a significant increase in the number and quality of images used, with a growing tendency to approach conceptual rather than decorative ones. No images of chemical systems that might help build the notion of dynamic equilibrium were found, therefore two conceptual proposals were presented, based on particle diagrams.

Key Words: images, graphs, chemical equilibrium, university chemistry textbooks.

INTRODUCCIÓN

Esta indagación se orienta a dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿Qué información visual presentan los libros de texto universitarios para el tema equilibrio químico? ¿Cómo ha evolucionado con el tiempo la cantidad y calidad de las imágenes en los textos?

En su investigación didáctica sobre la imagen en la enseñanza de las ciencias, Perales (2008) resalta la necesidad de clasificar las imágenes empleadas en los libros de texto, mejorar su generalizada inadecuación didáctica, clarificar los requisitos cognitivos para su correcta comprensión y profundizar en la utilidad de la imagen como

instrumento de modelización.

Las imágenes, representaciones externas pictóricas, tienen un fuerte carácter simbólico y sintético. Forman parte, y son esenciales, en la construcción de modelos mentales sobre un sistema físico. Éstos son modelos de trabajo que le permiten al sujeto comprender fenómenos, razonar sobre su funcionamiento, realizar inferencias y predicciones, experimentar eventos, decidir acciones y controlar su ejecución.

Aprender un sistema químico requiere construir las representaciones mentales adecuadas para comprenderlo, para explicar su funcionamiento y predecir su evolución con relación a teorías de la química. En general los estudiantes carecen de imágenes de sistemas en equilibrio químico, muchos de los cuales forman parte de su vida cotidiana, de su organismo o tienen fuerte importancia industrial. En un sistema en equilibrio químico no se aprecian cambios macroscópicos (a temperatura constante y sin perturbarlo) y su naturaleza dinámica está oculta a la vista, requiere ser modelizada. Modelos submicroscópicos (con representaciones de átomos, iones, moléculas) ayudan a describirlo, explicarlo y predecir su evolución. En síntesis, en la enseñanza del equilibrio químico será necesario integrar la información macroscópica y submicroscópica con el lenguaje simbólico empleado, como por ejemplo, la ecuación química.

Por la naturaleza abstracta y compleja del equilibrio químico es muy frecuente el uso de analogías para abordar aspectos del tema (Raviolo y Garritz, 2007). El empleo de imágenes para la presentación de los análogos resulta generalmente indispensable para evocarlos.

El objetivo de este trabajo es abordar la problemática del papel de los libros de texto y de los docentes en apoyar el proceso de visualización de sistemas químicos en equilibrio y la construcción de un modelo mental apropiado que le permita al estudiante comprender y resolver situaciones sobre el tema a partir de aprendizajes significativos, no mecánicos, y superar las múltiples concepciones alternativas denunciadas por investigación didáctica (Raviolo y Martínez Aznar, 2003).

Las ilustraciones en los textos

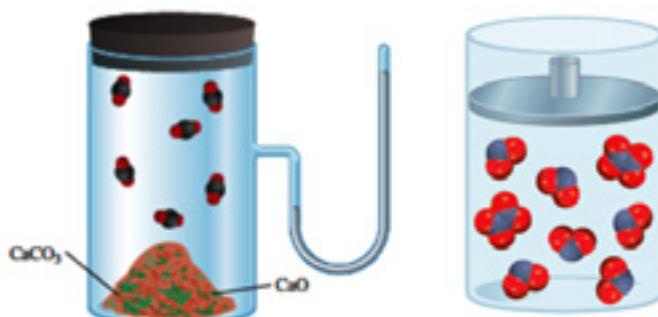
El término ilustraciones suele emplearse con dos acepciones, por un lado como sinónimo de dibujo figurativo o realista, y por otro lado, como todo tipo de información visual, distinta a palabras y símbolos, que aparecen en los libros de texto.

En este trabajo las ilustraciones de los textos han sido clasificadas en: fotos, dibujos esquemáticos, diagramas de partículas, ecuaciones químicas con partículas, imágenes de analogías y gráficos. A continuación se describe cada uno de estos términos y se brindan ejemplos extraídos de libros de texto universitarios sobre el tema equilibrio químico.

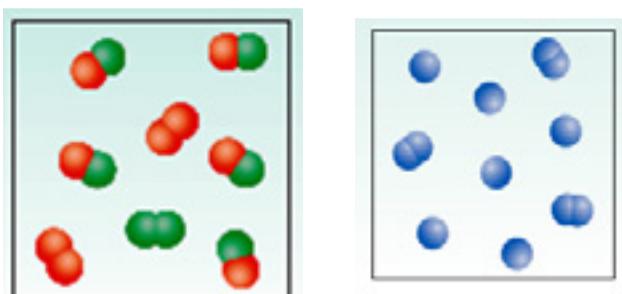
- Fotos: muestran una relación espacial reproductiva, una imagen realista. Se incluyen dibujos figurativos que copian o imitan la realidad.



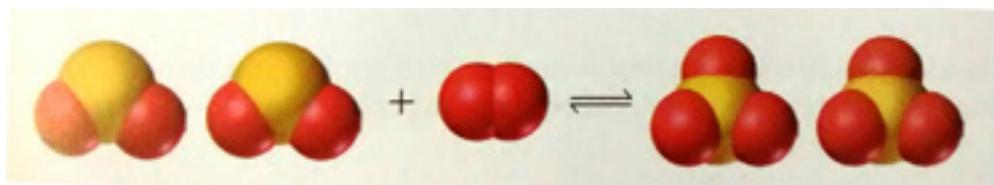
- Dibujos esquemáticos: también llamados diagramas, son representaciones simplificadas o esquemáticas de objetos. Al menos una parte es figurativa. Combinan distintos niveles de representación (niveles macroscópico, simbólico y submicroscópico).



- Diagramas de partículas: muestran un conjunto de átomos, iones o moléculas. Es una representación de entidades del nivel submicroscópico, donde el recipiente u objetos macroscópicos no tienen relevancia.



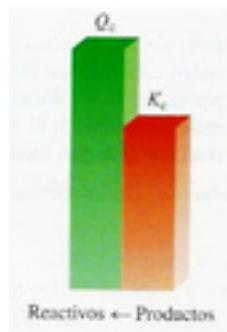
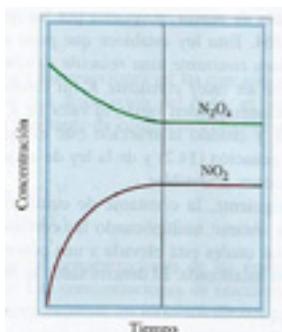
- Ecuaciones químicas con partículas: ecuaciones químicas con simple o doble flecha, en las cuales en lugar de los símbolos químicos se utilizan representaciones de moléculas como modelos compactos o de bolas y palos.



- Imágenes de análogos: Se trata de imágenes empleadas para presentar una analogía. Por ejemplo, la escalera mecánica en el centro comercial o el equilibrista, para ilustrar la naturaleza dinámica del equilibrio químico.



- Gráficos: representan relaciones entre números, información cuantitativa, donde las proporciones brindan información significativa. Pueden arribar a la representación de la dependencia entre variables mediante funciones matemáticas.



Como en toda clasificación arbitraria, puede ser motivo de discusión dónde incluir determinada imagen que combina algunos elementos de las categorías anteriores.

En este estudio no se tienen en cuenta las imágenes individuales de moléculas, iones o átomos; por ejemplo las distintas formas de representar las moléculas (desarrollada, bolas y palos, compacta, etc.). Tampoco se han relevado los esquemas conceptuales, que muestran espacialmente relaciones entre conceptos, como una red conceptual, un diagrama V, un diagrama de flujo, etc.; ni las representaciones simbólicas que abundan en textos de química como fórmulas y ecuaciones químicas y matemáticas.

METODOLOGÍA

Se realizó una indagación de las imágenes que aparecen en el capítulo de equilibrio químico en libros de química general universitaria en idioma español, editados en los últimos 50 años. Se analizó sólo el capítulo de generalidades del equilibrio químico, no se incluyó equilibrios ácido-base o de solubilidad que son generalmente tratados en capítulos posteriores. Se contabilizó en estos libros la presencia de fotos, ilustraciones, dibujos esquemáticos, diagramas de partículas, ecuaciones químicas con partículas, gráficos e imágenes de análogos.

La muestra, compuesta de 31 libros, si bien es amplia y representativa, no es exhaustiva dado que se incluyen los libros a los que se pudo acceder. Para algunos libros de un mismo autor se ha recurrido a un máximo de dos ediciones separadas por un lapso considerable de años. Si el texto presentaba varias imágenes o gráficos incluidos en una misma "figura" numerada o problema, se ha considerado como una sola imagen.

A fines organizativos, la evolución de la presencia de imágenes en los textos se realizó teniendo en cuenta tres períodos: libros anteriores a 1990, libros editados entre 1990 y 1999, y libros del año 2000 en adelante. Para cada período se indicó el número de textos analizados, si sus páginas están en color, el número de páginas dedicadas al capítulo y se calcularon dos cocientes que sintetizan la presencia promedio de imágenes y de gráficos para cada período. El Cociente de Imágenes (CI) se calcula para cada libro sumando todas las imágenes (fotos, dibujos esquemáticos, diagramas de partículas, ecuaciones químicas con partículas e imágenes de análogos) dividido el total de páginas y multiplicado por 10; de modo que un valor de CI igual a 1 indica una imagen cada 10 páginas del texto. De la misma forma se calcula el Cociente de Gráficos (CG) del capítulo, dividiendo el número total de gráficos que aparecen por el número total de páginas por 10.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Anexo se presenta una tabla con los resultados obtenidos en los 31 textos analizados en orden cronológico de año de edición. Por cuestiones de espacio sólo se menciona el primer autor del libro de texto, el resto de las referencias bibliográficas son fácilmente ubicables.

Una síntesis de los resultados obtenidos se aprecia en la Tabla 1:

Tabla 1: Resultados generales obtenidos

Período	Nº de libros del período	Nº de libros con páginas a color	Promedio páginas capítulo	Cociente Imágenes capítulo	Cociente Gráficos capítulo
1990 anteriores	10	0	21,6	0,6	0,7
1990 a 1999	11	3	28,5	1,6	1,0
2000 posteriores	10	8	40,2	4,1	1,7

Generalmente el capítulo sobre el equilibrio químico se ubica posteriormente al de cinética química y anteriormente al de equilibrio ácido-base. El número de páginas dedicado a este capítulo ha aumentado notablemente con el tiempo, como así también la cantidad de imágenes y gráficos que incluyen. Esta evolución es más significativa para el caso de las imágenes (que para los gráficos), que superan las 4 imágenes cada 10 páginas en los libros editados más recientemente.

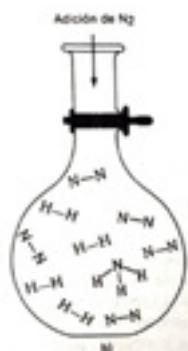
Se han hallado 89 fotos que han sido clasificadas en 4 categorías: (I) materiales de laboratorio químico (39), por ejemplo un diseño experimental de perturbación del equilibrio con la temperatura; (II) vida cotidiana (34), objetos o fenómenos observables incluidos con una finalidad de motivación, por ejemplo un relámpago, cuevas con estalactitas; (III) industria química (9), por ejemplo una planta de amoníaco y (IV) retratos de personas (7), generalmente Le Chatelier o Haber. En esta categoría de fotos se incluirían ilustraciones totalmente realistas como un dibujo figurativo, aunque no se encontró este tipo de imagen en los textos consultados.

En el período más rico en imágenes, período 2000 en adelante, se hallaron 172 imágenes (61 fotos) y 66 gráficos, de acuerdo al siguiente detalle (Tabla 2):

Tabla 2: Resultados período año 2000 en adelante

Fotos cotidiano	Fotos laboratorio	Fotos industria	Fotos personas-retratos	Dibujos esquemáticos	Diagramas partículas	Ecuaciones químicas con partículas	Imagen de analogía
25	27	5	4	35	53	19	4

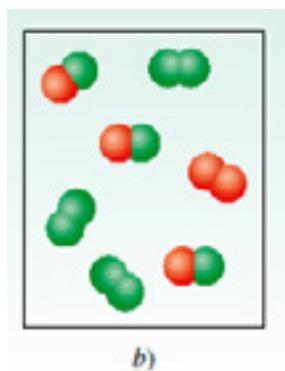
De los 54 dibujos esquemáticos encontrados, 35 se ubican en el período más reciente, 14 en el anterior y 5 en el primero. El texto Zumdahl (1992) fue un pionero en incluirlos, aunque, como puede observarse en la siguiente figura, en lugar usar esferas para las partículas emplea símbolos químicos.



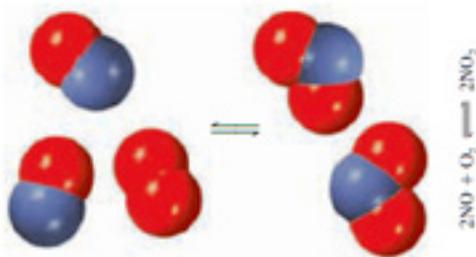
Los dibujos esquemáticos difieren de las redes o esquemas conceptuales (relaciones entre palabras) y de los gráficos (relaciones numéricas) en que alguna parte (o partes) del dibujo se corresponden a partes de algún objeto real o entidad; es decir, alguna parte es figurativa; es decir, una imagen macroscópica del sistema está presente.

Para Lowe (1986) los dibujos esquemáticos son diagramas científicos que no pretenden reproducir fielmente la realidad sino mostrar relaciones entre conceptos. Solaz (1996) sostiene que estos diagramas cumplen funciones de comunicación y reflexión de conceptos; así como, de mejorar la organización y almacenamiento de la información en la memoria de los sujetos. Aunque, para ello, los estudiantes deberían desarrollar habilidades para su interpretación, proceso que se vería favorecido si: (a) se dan a conocer las convenciones que se emplean para su construcción, (b) se explican convenientemente, (c) se interconectan con el resto de la información y (d) se proponen actividades adecuadas para abordarlos.

La aparición en libros de texto de diagramas con partículas (61 en total) se incrementó exponencialmente en los últimos años (4, 4 y 53 respectivamente por período). Este hecho puede atribuirse al impacto de la línea de investigación sobre la resolución conceptual de problemas, iniciada en trabajos como el de Nurrenbern y Pickering (1987). Esto se aprecia sensiblemente en textos como McMurry (2009) o Chang (2013) que incorporan situaciones conceptuales con diagramas de partículas, como opciones de respuesta, en los problemas propuestos al final del capítulo.



En los textos se hallaron 22 ecuaciones químicas con partículas, la mayoría (19) en el último período, destacándose en ello el libro Chang (2013) con 7. Este tipo de representación de la ecuación química, al mostrar las fórmulas moleculares con círculos en lugar de letras, ayuda a comprender situaciones de procesos químicos representados con diagramas de partículas.

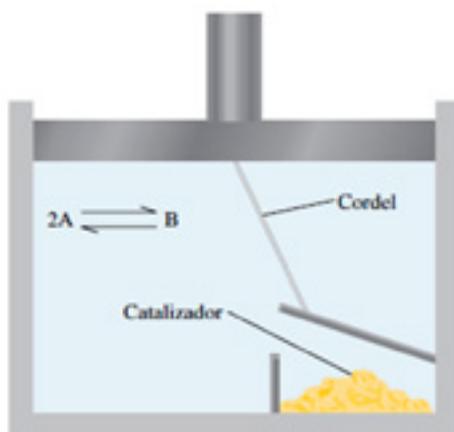


Los gráficos son el recurso visual más tradicional para abordar aspectos del equilibrio químico, los más típicos son los gráficos XY de concentraciones o velocidades versus tiempo. Se hallaron un total 111, que se distribuyeron en los tres períodos a razón de 15, 30 y 66 respectivamente.

A pesar que la cantidad de analogías sugeridas para el tema del equilibrio químico es muy grande y variada (Raviolo y Garritz, 2007), sólo 6 imágenes de análogos se hallaron en los libros; por ejemplo, las imágenes de los análogos: el pintor y despintor (Garritz y Chamizo, 1994), los tornillos y tuercas (Burns 1996), la escalera mecánica (McMurry, 2009) o el malabarista (Chang, 2013).

Las analogías constituyen una estrategia válida para la enseñanza del equilibrio químico, dada la complejidad y la abstracción del concepto. La naturaleza reversible del cambio químico y la naturaleza dinámica del equilibrio químico se pueden visualizar mediante analogías, donde las imágenes ayudarán a evocar el análogo, comprenderlo y establecer las relaciones análogo- objetivo. Lamentablemente muchas analogías promueven la idea errónea del equilibrio compartimentado al presentar los reactivos por un lado y los productos por otro.

Thiele y Treagust (1995) encontraron, en su análisis de analogías presentes en textos de química de nivel medio australiano, que el 55% de las analogías estaba acompañada de una imagen y que éstas (analogías pictóricas) generalmente se encontraban al margen como información anecdótica.



El significativo aumento de las imágenes “construidas” como dibujos esquemáticos, diagramas de partículas y ecuaciones químicas con partículas, respecto al número de fotos “reproductivas”, indica una intención de los autores de los textos a dirigir la atención a aspectos conceptuales de la temática, más que a funciones decorativas. Al respecto, se destaca como original la aparición de un dibujo esquemático (problema 14.93, Chang, 2013) orientado a hacer frente a la concepción errónea de que la presencia de un catalizador en un sistema en equilibrio químico acelera la reacción directa, que el catalizador actúa en un solo sentido.

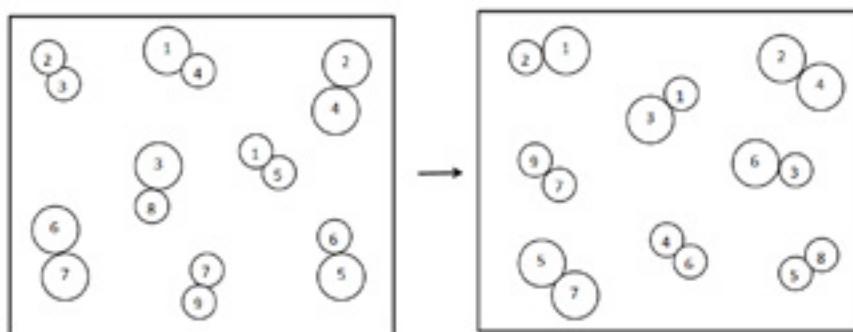
Imágenes y naturaleza dinámica del equilibrio químico

Tres características principales de un sistema químico en equilibrio son: la coexistencia de todas las especies en el mismo recipiente, la constancia de las concentraciones y su naturaleza dinámica. Algunos alumnos tienen dificultades en comprender esta última característica, el hecho de que la reacción se sigue produciendo con velocidades directa e inversa iguales, es decir que el sistema está activo a nivel submicroscópico. En la revisión de libros de texto se aprecia que no se encuentran imágenes que apoyen la construcción de un modelo mental sobre el equilibrio dinámico para un sistema químico, sí se encuentran para equilibrios de fases. En el libro de texto de Petrucci (2011) aparecen dibujos esquemáticos que ilustran el estado dinámico del equilibrio de solubilidad, $\text{AgI}(s) \rightleftharpoons \text{AgI}(ac, \text{saturado})$ a través del agregado a la solución de $\text{AgI}(s)$ con trazas de yodo radiactivo.

Muchas concepciones alternativas se generan al emplear los distintos niveles de representación de la química (submicroscópico, simbólico y macroscópico) sin establecer claramente las correspondientes diferencias y relaciones entre ellos. En particular, se ha mostrado cómo muchos estudiantes confunden los coeficientes estequiométricos de la ecuación química (simbólico) con las cantidades presentes de las especies en una situación experimental concreta (macroscópico) porque carecen de un

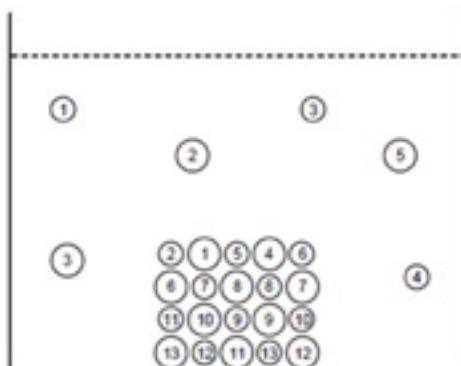
modelo alternativo (submicroscópico). Por ello, se recomiendan actividades que relacionen o integren estos tres niveles de representación, a los que se puede añadir el nivel gráfico (gráficos XY, por ejemplo, de concentraciones o velocidades de reacción versus tiempo) que permiten comprender la composición, dinámica y evolución del sistema en distintos momentos (Raviolo y Martínez Aznar, 2005).

Un ejemplo de relación entre los niveles de representación submicro y simbólico, para un aspecto macroscópicamente no visible, el aspecto dinámico del equilibrio químico, se aprecia en los siguientes diagramas con partículas, que permiten visualizar lo que ocurre a nivel atómico-molecular para el sistema $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$. En estos diagramas los átomos han sido numerados para identificarlos. La figura muestra dos momentos diferentes del sistema químico en equilibrio a temperatura constante, en ellos: (a) se mantiene constante el número de moléculas de cada una de las tres especies (I_2 , H_2 y HI), (b) cambia la posición espacial de las moléculas (aspecto cinético) y (c) cambian los átomos que forman las moléculas (aspecto dinámico).



Esta cuestión conceptual se puede formular como una actividad para que la completen los estudiantes. En ese caso se presenta el segundo recipiente vacío y se solicita: "Dibuja y enumera una situación de equilibrio después de transcurrido un cierto tiempo a temperatura constante (○ representa un átomo de hidrógeno y ○ representa un átomo de yodo). Los átomos han sido numerados para identificarlos. Escribe la ecuación química correspondiente."

En otra actividad similar (Raviolo, 2001), se discute una forma para evaluar la comprensión conceptual de los estudiantes sobre el tema equilibrio de solubilidad, a partir de una figura que muestra las partículas numeradas de un sólido iónico (AgCl) en equilibrio con sus iones disueltos. Por simplificación del diagrama, las moléculas de agua no han sido dibujadas y la línea horizontal punteada sugiere que se trata de un medio líquido.



A partir de la presentación de este diagrama se puede solicitar a los estudiantes que respondan a consignas formuladas en términos de los distintos niveles de representación:

Macroscópico: "Describa el fenómeno desde el momento que la sal es arrojada al agua utilizando, por lo menos una vez, los siguientes conceptos: solubilidad, solución saturada, compuesto iónico, solvente, soluto, sal, equilibrio, disolución, precipitación."

Simbólico: "Escriba la ecuación química correspondiente."

Submicroscópico: "(a) Dibuja una situación previa a que se alcance el equilibrio. (b) Numerando los iones, dibuja otro estado de equilibrio después que haya transcurrido un tiempo (la temperatura se mantiene constante). Explica."

CONCLUSIONES

Las funciones educativas atribuidas a las imágenes han sido clasificadas en: (a) decorativas: no se relacionan directamente con el texto; (b) representacionales: muestran un elemento descrito en el texto; (c) organizacionales: muestran las relaciones entre elementos descritos en el texto o (d) explicativas: muestran cómo el sistema trabaja (Perales, 2008). Teniendo en cuenta esta clasificación, las funciones que cumplen las imágenes sobre el equilibrio químico encontradas en los libros de texto tienden, con el paso del tiempo, hacia funciones más organizacionales y explicativas, como lo muestra el aumento de la presencia de dibujos esquemáticos, contruidos con una intención didáctica.

En definitiva, en la investigación realizada se aprecia que, más allá de los progresos en los sistemas de edición e impresión, existe una evolución en la calidad de las imágenes presentes en los libros de texto que se orienta hacia funciones más conceptuales que decorativas. Existe una mayor incorporación de imágenes y gráficos en los problemas al final del capítulo y, en general, una mayor tendencia a plantear situaciones problemáticas conceptuales, no algorítmicas.

Finalmente se presentaron un par de actividades conceptuales y originales, basadas en diagramas con partículas, para reforzar un aspecto poco ilustrado como la naturaleza dinámica del equilibrio químico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Lowe, R. (1986). The scientific diagram: is it worth a thousand words? *Australian Science Teacher` Journal*, 32(3), 7-13.
- Nurrenbern, S. y Pickering, M. (1987). Concept learning versus problem solving: is there a difference? *Journal of Chemical Education*, 64(6), 508-510.
- Perales, F. (2008). La imagen en la enseñanza de las ciencias: algunos resultados de investigación en la Universidad de Granada, España. *Formación Universitaria*, 1(4), 13-22.
- Raviolo, A. (2001). Assessing students' understanding of solubility equilibrium, *Journal of Chemical Education*, 78(5), 629-631.
- Raviolo, A. (2006). Las imágenes en el aprendizaje y en la enseñanza del equilibrio químico. *Educación Química*, 17(num. extr.), 300-307.
- Raviolo, A. y Martínez Aznar, M. (2003). Una revisión sobre las concepciones alternativas de los estudiantes con relación al equilibrio químico. *Educación Química*, 14(3), 60-66.
- Raviolo, A. y Martínez Aznar, M. (2005). El origen de las dificultades y de las concepciones alternativas de los alumnos con el equilibrio químico. *Educación Química*, 16(num. extr.), 159-166.
- Raviolo, A. y Garritz, A. (2007). Analogías en la enseñanza del equilibrio químico. *Educación Química*, 18(1), 16-29.
- Solaz, J. (1996). Diagramas: ¿ilustraciones eficaces en la instrucción en ciencias. *Educación Química*, 7(3), 145-149.
- Thiele, R. y Treagust, D. (1995). Analogies in chemistry textbooks. *International Journal of Science Education*, 17(6), 783-795.

Anexo: los textos analizados, tabulados en orden cronológico

Nº	Primer autor	Año	Nº pag. capit.	Color	Fotos	Dibujos esquemáticos	Diagramas partículas	Ecuac. qca con partículas	Imagen análogos	Total imágenes	Total gráficos	Cociente Imágenes	Cociente Gráficos
1	Copton	1964	8	no						0	0	0,0	0,0
2	Maham	1968	26	no						0	5	0,0	1,9
3	Gray	1969	23	2			3	2		5	0	2,2	0,0
4	Sienko	1970	22	no						0	2	0,0	0,9
5	Choppin	1973	11	2		1	1			2	0	1,8	0,0
6	Babor	1974	24	no		3				3	1	1,3	0,4
7	Hiller	1974	30	no						0	1	0,0	0,3
8	Brescia	1975	21	no						0	1	0,0	0,5
9	Ander	1978	14	no						0	3	0,0	2,1
10	Pauling	1980	37	no		1				1	2	0,3	0,5
11	Mahan	1990	36	no						0	6	0,0	1,7
12	Whitten	1992	30	no	6	1				7	2	2,3	0,7
13	Zum-dhal	1992	38	no	9	7				16	4	4,2	1,1
14	Brady	1993	29	no						0	2	0,0	0,7
15	Sienko	1993	28	no						0	5	0,0	1,8
16	Angelini	1994	30	no						0	1	0,0	0,3
17	Garritz	1994	25	no	3			1	1	5	1	2,0	0,4
18	Burns	1996	13	si	1		2		1	4	2	3,1	1,5
19	Daub	1996	13	no	2					2	1	1,5	0,8
20	Atkins	1998	36	si	7	2	1			10	5	2,8	1,4
21	Petrucci	1999	35	no		4	1	0		5	1	1,4	0,3
22	Umland	2000	44	no	4	3	6	1	1	15	3	3,4	0,7
23	Brown	2004	38	si	5	2	4	1		12	10	3,2	2,6
24	Garritz	2005	26	no	3	2	1			6	2	2,3	0,8
25	Atkins	2006	36	si	8	1				9	12	2,5	3,3
26	Whitten	2008	42	si	8	4		1		13	8	3,1	1,9
27	Brown	2009	40	si	2	6	8	1		17	12	4,3	3,0
28	MCMurry	2009	46	si	11	3	17	5	2	38	8	8,3	1,7
29	Ebbing	2010	43	si	9	4	6	2		21	3	4,9	0,7
30	Petrucci	2011	42	si	5	5	3	1		14	1	3,3	0,2
31	Chang	2013	45	si	6	5	8	7	1	27	7	6,0	1,6